

Федеральное агентство по рыболовству  
Российский союз инженеров  
Международный союз машиностроителей  
Камчатский государственный технический университет  
Донецкий национальный технический университет  
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры  
Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:  
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы  
Пятой международной научно-технической конференции  
(18–21 октября 2022 г.)*

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский  
2022

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.Ю. Труднев, к.т.н.;*  
*А.В. Костенко, к.т.н.; С.Н. Царенко, к.т.н.;*  
*А.А. Седельникова*

Т38 **Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития** : материалы Пятой международной научно-технической конференции (18–21 октября 2022 г.) / отв. за вып. О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2022. – 154 с.

ISBN 978-5-328-00426-8

В сборник включены материалы Пятой 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 978-5-328-00426-8

© КамчатГТУ, 2022  
© Авторы, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

<b>Белов О.А.</b> Анализ результатов ультразвукового контроля корпуса рыбопромыслового судна .....	5
<b>Бобров М.Ю., Лаптев М.В.</b> Развитие Северного морского пути и его роль для Камчатского края .....	10
<b>Иванов Б.Г., Тельнов А.А., Шилов Е.М., Чакляров И.О., Шока Н.А.</b> Новый подход к оценке устойчивости динамических систем на этапе их проектирования .....	13
<b>Омельченко Д.О., Федосеев К.Р.</b> Анализ аварийности судового оборудования на рыболовецких судах типа БАТМ.....	18
<b>Сгибнев М.Д., Царенко С.Н.</b> Динамика мачтовых и антенных сооружений при аварийном столкновении судна с препятствием.....	23
<b>Трибунская Р.М.</b> К вопросу повышения надежности поршневых колец судовых двигателей внутреннего сгорания .....	27
<b>Шестернина М.В.</b> Российское СПГ-судостроение и экспорт газа в условиях санкционного давления .....	29
<b>Ястребов Д.П., Белов О.А., Швецов В.А.</b> К вопросу контроля защищенности судов и морских сооружений от электрокоррозии .....	31
<b>Ястребов Д.П., Швецов В.А.</b> К вопросу применения нестандартных электродов сравнения в морских условиях .....	36

### СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Ахмедова Н.Р., Левичева О.И., Наумов В.А.</b> Энергетические затраты кулачкового насоса на перекачивание плавленого сыра .....	41
<b>Белов О.А., Мясников Г.С.</b> Оценка динамики электропотребления и перспективы развития генерации в Козыревском изолированном энергоузле Камчатского края.....	45
<b>Богомолов А.С., Рябовол Н.С.</b> Анализ интенсивности работы резервной дизельной электростанции (ДЭС-6) в Усть-Большерецком районе .....	52
<b>Гараев Р.А., Рогожников А.О.</b> Перспектива использования робота-манипулятора в различных отраслях.....	57
<b>Данилов Д.С., Калинин П.Г.</b> Устройство автоматизированного контроля и сигнализации уровня сопротивления изоляции....	61
<b>Змеев А.Д., Рогожников А.О.</b> Натурные испытания по подбору мощности освещения для подводного дрона модульной конструкции.....	66
<b>Соловьева Е.Е.</b> Исследование подходов в разработке алгоритмов управления автоматизированной системой организации поиска и выемки контейнеров .....	70
<b>Ященко И.А., Коллегов С.В.</b> Исследование и анализ режимов работы машины постоянного тока в генераторном режиме.....	75

### СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ, НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ СУДОВ АГРЕГАТОВ

<b>Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Воронцов И.Б.</b> Формообразование гиперболических поверхностей при помощи дисковых и концевых фрез.....	81
---	----

<b>Гридин С.В., Матвиенко С.А., Лукичев А.В., Варакута В.В., Крайний П.В., Максименко Д.И.</b>	
Разработка комплекса оборудования для повышения топливной экономичности и экологической безопасности транспортных машин .....	85
<b>Игнаткина Е.Л., Костенко А.В.</b>	
Результаты экспериментальных исследований коэффициента трения тормозных устройств шахтных подвесных монорельсовых дорог .....	90
<b>Иодис В.А., Сарайкина И.П., Македонский А.А.</b>	
Анализ судовых систем кондиционирования воздуха.....	94
<b>Лебедева А.П., Степанова Е.А.</b>	
Исследование и анализ свойств некоторых материалов как потенциальных сорбентов .....	99
<b>Михайлов Д.А., Пичко Н.С., Михайлов А.Н., Костенко А.В., Шейко Е.А.</b>	
Структурный анализ ГТУ нефтегазовой промышленности и исследование особенностей эксплуатации лопаток компрессора .....	103
<b>Рак А.Н., Гутаревич В.О.</b>	
Анализ эффективных систем для сокращения выбросов в атмосферу $NO_x$ , $SO_x$ и $CO_x$ с морских судов.....	108
<b>Сарайкина И.П., Иодис В.А., Матросов М.А.</b>	
Обоснование выбора способа увлажнения воздуха в охлаждаемом помещении.....	113
<b>Фоменко С.А.</b>	
К вопросу о динамических расчетах, испытаниях и диагностике зданий и сооружений .....	116

#### **СЕКЦИЯ 4. ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ, ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

<b>Ахмедова Н.Р., Валл Е.В., Наумов В.А.</b>	
Восстановление гидрологического ряда реки Прохладной.....	121
<b>Иванов М.Э., Бобров М.Ю.</b>	
Влияние физических упражнений на жизнедеятельность человека.....	126
<b>Климова А.В., Позолотина Л.А.</b>	
Оценка санитарно-гигиенической безопасности ламинариевых водорослей Авачинского залива (юго-восточная Камчатка) в 2021 г. ....	129
<b>Мущанов В.Ф., Фоменко С.А.</b>	
О методике преподавания теоретической механики в строительном вузе .....	133
<b>Новосадов Б.И.</b>	
Организация общественной системы сбора отработанных гальванических элементов в городе Петропавловске-Камчатском .....	137
<b>Степанова Е.А.</b>	
Опыт преподавания дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» .....	141
<b>Яблуновский И.А., Рогожников А.О.</b>	
Анализ технологии переработки вторичного полимерного сырья методом экструзии .....	146
<b>Яблуновский И.А.</b>	
Общая оценка возможности переработки пластиковых отходов в филамент для 3D-печати.....	150
Список организаций – участников конференции и их адреса.....	154

## СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 620.19:629.5.023

**О.А. Белов**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail:boa-1@mail.ru*

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ КОРПУСА РЫБОПРОМЫСЛОВОГО СУДНА

Ультразвуковой контроль (УЗК) считается одним из объективных методов диагностики состояния корпуса судна. Результаты УЗК позволяют оценить фактическое состояние корпуса судна, а также определить необходимый объем ремонтных работ для восстановления его надежности. Опыт эксплуатации судов показывает, что увеличение затрат на ремонт корпуса судна не всегда обеспечивает требуемый уровень надежности в течение всего межремонтного периода. В статье предпринята попытка использования результатов УЗК для определения основных причин повышенного коррозионного износа корпуса судна и выработки предложений по их устранению. Предполагается, что данные мероприятия позволят снизить затраты на доковый ремонт и повысить безопасность эксплуатации судов рыбопромыслового флота.

**Ключевые слова:** электрохимическая коррозия, ультразвуковой контроль, протекторная защита, безопасность, надежность, техническая эксплуатация.

**O.A. Belov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail:boa-1@mail.ru*

### ANALYSIS OF FISHING VESSELHULL ULTRASONIC TESTINGRESULTS

Ultrasonic testing (UT) is considered one of the objective methods for diagnosing the condition of a ship's hull. The results of ultrasonic testing make it possible to assess the actual condition of the ship's hull, as well as to determine the necessary amount of repair work to restore its reliability. Experience in the operation of ships shows that an increase in the ship's hull repairingcost does not always provide the required level of reliability during the entire overhaul period. The results of ultrasonic testing were attempted todetermin the main causes of increased corrosive ship's hull wear and todevelop proposals for their elimination. It is assumed that these measures will reduce the cost of dock repairs and improve the safety of fishing vesselsoperation.

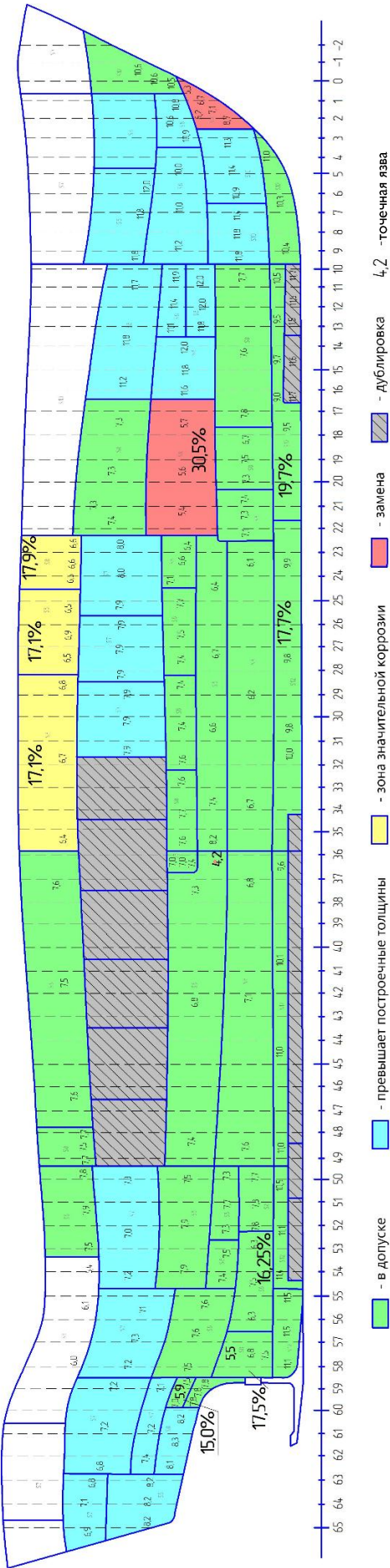
**Key words:** electrochemical corrosion, ultrasonic testing, tread protection, safety, reliability, technical operation.

Одним из факторов, определяющих безопасность плавания современных судов, является прочность и надежность корпуса. Однако в результате коррозионных процессов, сопровождающих эксплуатацию судна, корпусные конструкции получают повреждения, изнашиваются и постепенно утрачивают свои прочностные и эксплуатационные характеристики. В первую очередь это связано с уменьшением толщины обшивки корпуса и конструктивных элементов его набора [1, 2].

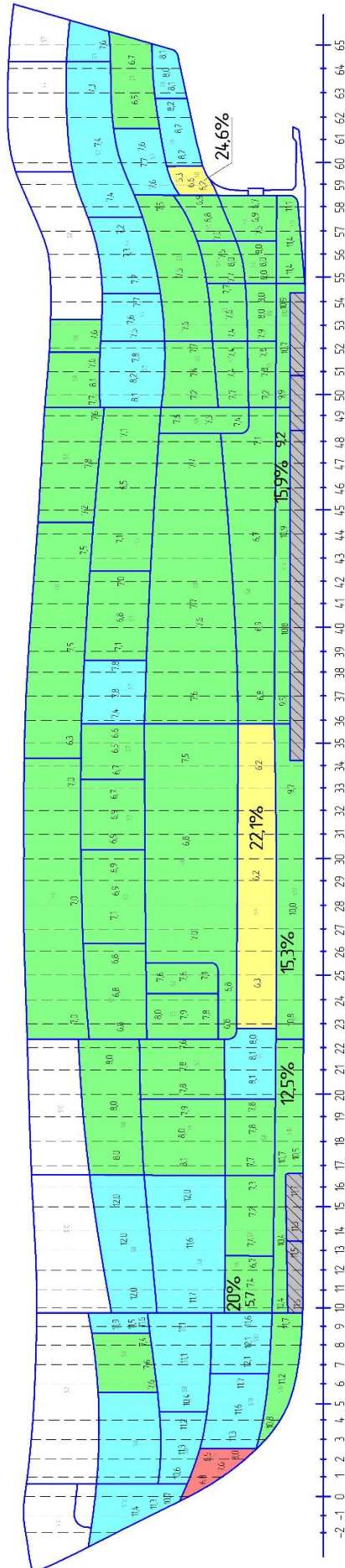
Для определения остаточных толщин корпусных конструкций и возможности безопасной эксплуатации судна в период докового ремонта осуществляется диагностика корпуса методом ультразвукового контроля (УЗК). Данный метод позволяет объективно оценить износ корпуса судна и определить объем восстановительных работ.

Результаты УЗК наглядно представляются в графическом виде на эпюре растяжки корпуса судна побортно, а также при необходимости и по отдельным элементам корпусных конструкций. На рисунке ниже представлены результаты визуального контроля и УЗК корпуса рыбопромыслового судна «Василий Теплов».

РС – 300 "Василий Теплов" ЛБ



РС – 300 "Василий Теплов" ЛБ



Эпюра растяжки корпуса судна «Василий Теплов» с результатами визуального контроля и УЗК

Общий анализ представленных результатов УЗК показывает, что три листа бортовой обшивки имеют износ более 30%. Этот показатель превышает допустимую величину и требуется замена данных элементов. Пять листов наружной обшивки имеют износ от 17 до 25% и составляют зону значительной коррозии (ЗЗК). Верхний пояс этой зоны представляет собой обшивку надстройки выше ватерлинии, и величина износа позволяет дальнейшую эксплуатацию судна при организации дополнительного контроля. Нижний пояс ЗЗК, расположенный ниже ватерлинии в районе миделя и кормового подзора по левому борту, представляет потенциальную опасность для дальнейшей эксплуатации судна, и листы обшивки этого пояса также подлежат замене (рисунок).

Согласно требованиям Регистра, замене также подлежат десять дублирующих листов, расположенных в килевой части судна и в районе миделя по правому борту. Использование дублирующих листов скорее всего связано с аварийными повреждениями корпуса данного судна.

Следует также обратить внимание, что, несмотря на допустимую остаточную толщину обшивки большей части корпуса, ее величина очень близка к критическому значению, и кроме того, возможно быстрое снижение этого показателя до предельного значения в результате высокой интенсивности коррозионных процессов. На это указывает факт наличия глубоких точечных повреждений обшивки корпуса в допустимой зоне язвенной коррозией.

На эюре растяжки корпуса судна также наблюдаются зоны, где толщина металла превышает построечные значения. Это указывает на тот факт, что в условиях интенсивной коррозии предпринята попытка обеспечить прочность и надежность корпуса судна путем преднамеренной установки во время предыдущего ремонта листов металла с большей толщиной. Такие замены проведены в основном в носовой и кормовой части корпуса. Однако результаты УЗК показывают, что увеличение толщины листов обшивки не снижает интенсивность коррозионных процессов, и в этой зоне на отдельных листах также наблюдается приближение остаточной толщины металла к критическому значению.

В совокупности данные анализа состояния корпуса показывают необходимость проведения большого объема работ по восстановлению наружной обшивки корпуса рассматриваемого судна. Учитывая сложность технологии корпусного ремонта и его трудоемкость, можно предположить высокий уровень финансовых затрат на восстановление мореходных свойств данного судна. Для снижения финансовых затрат целесообразно установить причины повышенного износа элементов обшивки корпуса, спрогнозировать дальнейшее развитие коррозионных процессов и разработать комплекс мер по предупреждению и ограничению интенсивности процессов коррозии.

Предположительно основной причиной повышенного коррозионного износа надводной части обшивки корпуса по правому борту и наличии именно здесь обширного участка ЗЗК является технологический процесс добычи рыбы. Так как на судах данного типа правый борт является «рабочим», при выборке порядков происходит обильное смачивание поверхности обшивки, что при взаимодействии с воздухом приводит к активизации процессов коррозии. Значительное снижение толщин листов обшивки в этой области и наличие дублирующего пояса косвенно подтверждает это предположение. Для ограничения интенсивности коррозионных процессов на данном участке наряду с конструктивными доработками необходимо применение более прочных и эффективных лакокрасочных покрытий (ЛКП).

Наличие пояса ЗЗК в подводной части в районе машинного отделения и интенсивное снижение толщины металла в этой же зоне по правому борту связано с рабочими процессами машинного отделения и наличием в этом районе большого количества элементов донно-заборной аппаратуры (ДЗА). В связи с этим, наряду с применением необходимого ЛКП, в данном районе требуется установка надежной и эффективно протекторной защиты. Это требование относится и к району кормового подзора, где также наблюдается наибольшая интенсивность коррозии [3].

Для повышения эффективности и надежности работы протекторной защиты необходимым условием является выполнение рекомендаций, установленных руководящими документами по защите корпусов судов от коррозии [4, 5]. Одно из направлений этой работы – организация качественного контроля за состоянием протекторной защиты в течение всего периода эксплуатации судна. Кроме того, целесообразно применять современные методы организации контроля антикоррозионной защиты с применением апробированных способов и устройств контроля [6, 7].

Использование научного подхода в вопросах организации эксплуатации протекторной защиты, информационное обеспечение в рамках непрерывного освидетельствования корпуса судна, подготовка квалифицированных операторов контроля антикоррозионной защиты позволяет решать задачи снижения интенсивности коррозионных процессов и сохранения эксплуатационных параметров корпуса судна [8–12].

Значительно повысить уровень антикоррозионной защиты и эффективность организации контроля за состоянием протекторов позволяет внедрение автоматизированных систем контроля. Такие системы обеспечивают непрерывный поток данных о работоспособности антикоррозионной защиты, о состоянии протекторов, об интенсивности коррозионных процессов в подводной части корпуса. Это позволяет с высокой точностью оценить фактическое состояние корпуса судна на текущий момент и своевременно предпринять при необходимости меры по устранению предпосылок к коррозионному разрушению металлических элементов набора [13, 14].

С внедрением системы автоматизированного контроля за состоянием протекторной защиты представляется возможность применения ее как еще одного объективного способа прогнозирования надежности корпуса судна. Использование автоматизированной системы в совокупности с дополнительными ручными измерениями на основе апробированных, менее трудоемких способов контроля, позволяет получить объективные данные о состоянии корпуса судна. Для наглядности и общей оценки информации комплексные результаты этих измерений также могут быть представлены на эпюре растяжки корпуса судна с нанесением зон активизации коррозионных процессов. При этом судно продолжает эксплуатироваться в прежнем режиме без ограничений. Полученная информация позволит определить начальную стадию разрушения корпуса судна, заблаговременно предпринять меры по устранению предпосылок и тем самым не только предотвратить снижение эксплуатационной надежности судна, но и избежать значительных финансовых потерь при очередном доковом ремонте.

В перспективе при практическом подтверждении объективности методов автоматизированного контроля состояния антикоррозионной защиты возможно использование их данных для определения оптимального времени докового ремонта судна. Тем самым, опираясь на полученные данные, появится возможность проводить этот вид ремонта не по установленному временному периоду эксплуатации судна, а по фактическому состоянию корпусных конструкций. При этом сокращается объем ремонтных работ, время нахождения судна в доке, и, соответственно, существенно снижаются финансовые затраты на подготовку судна к очередному периоду эксплуатации.

Таким образом, представленные результаты визуального и ультразвукового контроля позволяют оценить фактическое состояние судовых конструкций, определить объемы ремонта, разработать и реализовать мероприятия по устранению последствий коррозионных разрушений для восстановления непроницаемости и надежности корпуса судна. По сути мероприятия УЗК фиксируют факт разрушения конструкций, но в большинстве случаев не позволяют предупредить эти разрушения. Кроме того, в период эксплуатации судна проведение УЗК технически невыполнимо, поэтому спрогнозировать его фактическое состояние в конкретный момент времени невозможно. Попытки использования для этих целей визуального контроля, в том числе с помощью водолазного осмотра, также недостаточно эффективны, так как не позволяют дать комплексную оценку состоянию корпуса судна. Кроме того, применение в таком виде визуального контроля связано с дополнительными финансовыми и временными затратами.

Поэтому применение системы автоматизированного контроля за состоянием антикоррозионной защиты корпусных конструкций является перспективным направлением в рамках повышения эксплуатационной надежности корпусов судов, снижения финансовых затрат на поддержание и восстановление их технических характеристик и обеспечения безопасности мореплавания. В совокупности с совершенствованием технологий ремонта и восстановления корпусных конструкций, повышения антикоррозионных свойств материалов и защитных свойств ЛПК внедрение непрерывного контроля за состоянием корпуса судна способно обеспечить высокий экономический эффект и перевести эксплуатацию флота на новый технологический уровень.

## Литература

1. Чендлер К.А. Коррозия судов и морских сооружений. Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1988. – 320 с.
2. Люблинский Е.Я., Пирогов В.Д. Коррозия и защита судов: Справочник. – Л.: Судостроение, 1987. – 376 с.
3. Белов О.А. Современное состояние организации комплексной защиты металлических корпусов кораблей и судов от коррозии // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2017. – № 3 (118). – С. 115–120.



4. РД 31.28.10-97. Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (дата обращения: 2.10.2022).
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: 2.10.2022).
6. Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов: патент № 153280 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02 / *В.А. Швецов, П.А. Белозёров, Д.В. Шунькин, А.А. Диденко, А.А. Луценко, Д.В. Коростылёв, О.А. Белавина*; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ». – № 2014142289/28; заяв. 20.10.2014; опубл. 10.07.2015.
7. Способ контроля защищенности стальных корпусов кораблей и судов от электрохимической коррозии и электрокоррозии: патент № 2643709 Российская Федерация, G01N17/02 / *О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина*; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КамчатГТУ». – № 2017111530; заяв. 28.04.2017; опубл. 05.02.2018.
8. *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.
9. 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.
10. 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. – Вып. 1. – С. 29–38.
11. Обоснование способа выбора контрольных точек для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / *П.А. Белозеров, В.А. Швецов, О.А. Белавина и др.* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 28. – С. 6–11.
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. Разработка автоматизированной системы контроля протекторной защиты корпусов рыбопромысловых судов / *О.А. Белов, Д.П. Ястребов, А.О. Рогожников и др.* // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы XI Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 82–85.
14. Оперативный контроль состояния антикоррозионной защиты как фактор безопасности технической эксплуатации морских судов / *О.А. Белов, А.О. Шуваева, С.А. Клементьев, А.В. Федин* // Инноватика и экспертиза: научные труды. – 2020. – № 1 (29). – С. 152–159.

УДК 656.61

**М.Ю. Бобров, М.В. Лаптев**

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

### **РАЗВИТИЕ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ И ЕГО РОЛЬ ДЛЯ КАМЧАТСКОГО КРАЯ**

В статье приведены аспекты развития Северного морского пути. Указаны и разобраны разделы проекта Северного морского пути. Представлены положительные последствия реализации проекта Северного морского пути для Камчатского края и, в частности, города Петропавловска-Камчатского.

**Ключевые слова:** Северный морской путь; хаб-порт, Камчатский край, план, стратегия развития, проект.

**M.Y. Bobrov, M.V. Laptev**

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

### **DEVELOPMENT OF NORTHERN SEA ROUTE AND ITS ROLE FOR KAMCHATKA TERRITORY**

The aspects of Northern sea route development are presented. Sections of the Northern Sea Route project are indicated and analyzed. The positive consequences of implementation of the Northern Sea Route project for the Kamchatka Territory and, in particular, for Petropavlovsk-Kamchatsky are presented.

**Key words:** Northern sea route, hub port, Kamchatka Territory, plan, development strategy, project.

Развитие грузоперевозок через Северный морской путь – один из приоритетов государственной политики по развитию Арктики. Северный морской путь (далее – СМП) – это главная судоходная магистраль Арктики, которая представляет собой кратчайшую трассу от Дальнего Востока до европейской части страны. Президент России В.В. Путин поставил стратегическую цель сделать СМП глобальной транспортной артерией в Арктике икратно увеличить ежегодный грузооборот уже к 2024 году до 80 млн тонн.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 августа 2022 года был утвержден план развития Северного морского пути до 2035 года. Стоит отметить, что данный план является достаточно комплексным, он охватывает множество сфер и отраслей экономики: от реализации проектов по освоению нефтяных месторождений «Восток Ойл» и организации регулярных каботажных рейсов по акватории Северного морского пути до строительства морского терминала на мысе Наглейный и строительства железнодорожных подходов к транспортно-логистическому узлу [1].

Камчатский край, исходя из географического положения, будучи воротами СМП, готов участвовать в достижении поставленных целей. Петропавловск-Камчатский располагается на побережье глубоководной незамерзающей Авачинской бухты. Навигация осуществляется в течение всего года. Авачинская – вторая по величине в мире естественная бухта. Ее длина составляет 24 км, максимальная глубина достигает 28 м. Общая площадь бухты – 215 кв. км

Проект развития СМП состоит более чем из 150 мероприятий и пяти ключевых разделов. О данных разделах сейчас и пойдет речь [2].

1. Раздел «Грузовая база» содержит осуществление мониторинга ключевых инвестиционных проектов, предусматривается заключение взаимобязывающих соглашений между Минвоorstокразвития России, Госкорпорацией «Росатом» и грузоотправителями в части ежегодного

обеспечения грузопотока по СМП. Кроме того, разделом предусматриваются мероприятия по развитию СМП как национальной транспортной артерии для доставки грузов из западной части страны в восточную и в обратном направлении, в том числе грузов северного завоза.

2. Раздел «Транспортная инфраструктура» предусматривает обеспечение перевозок в акватории СМП сопутствующей транспортной инфраструктурой, в первую очередь, портовой и железнодорожной. Так, сейчас идет строительство терминалов «Утренний», «Бухта Север», «Енисей», развитие Мурманского и Архангельского транспортных узлов, создание западного и восточного портов-хабов для транзитной линии с российским оператором. Отдельное внимание уделено мероприятиям по дноуглублению в акватории СМП на лимитирующих речных и морских участках.

3. Раздел «Грузовой и ледокольный флот» содержит планы по строительству пяти серийных атомных ледоколов проекта 22220, головного ледокола проекта «Лидер», а также дополнительных четырех ледоколов с битопливной энергетической установкой. Предусматривается строительство грузового флота арктического класса для вывоза продукции проектов освоения месторождений в Арктике, флота снабжения для грузов северного завоза, а также контейнеровозов для транзитной контейнерной линии.

4. Раздел «Безопасность судоходства по СМП» предусматривает создание арктической спутниковой группировки мониторинга гидрометеорологической обстановки и радиолокационного наблюдения (создание и обновление группировки в составе четырех аппаратов «Арктика-М», двух «Кондор-ФКА» и одного «Обзор-Р»). Запланировано строительство 46 судов аварийно-спасательного флота, многофункционального спасательного судна класса Arc5, строительство четырех комплексных аварийно-спасательных центров для размещения подразделений МЧС России в п. Сабетте, пгт Диксоне, п. Тикси и г. Певеке и их оснащение необходимым оборудованием и средствами спасения, в том числе 13 вертолетами в арктическом исполнении.

5. Раздел «Управление и развитие судоходства по СМП» направлен на обеспечение информационными и цифровыми услугами в арктических акваториях, в том числе создание и развитие единой платформы цифровых сервисов, а также развитие международного сотрудничества в целях развития судоходства по Севморпути.

Также было создано главное управление СМП. Это поможет централизовать полномочия по управлению движением судов в акватории Северного морского пути и повысить безопасность судоходства на этом важнейшем направлении [3].

Проект развития СМП играет огромнейшую роль для дальнейшего развития Камчатского края.

Во-первых, освоение СМП позволит снизить цены на различную продукцию внутри края, ведь Петропавловск-Камчатский, согласно проекту, должен стать ключевым хабом СМП. Огромное количество грузов со всех уголков страны и мира смогут в круглогодичном режиме проходить через Камчатский край. Любые грузы из Петербурга, Мурманска, Архангельска могут быть доставлены за две недели до столицы края с минимальной стоимостью. Это один из главных путей по снижению стоимости доставки и транспортной наценки, которая сейчас определяет высокие цены на доставляемую продукцию [4].

Во-вторых, навигация СМП повлечет за собой развитие судоремонта и портовых мощностей. В плане развития СМП предусмотрено огромное количество проектов, направленных на развитие инфраструктуры в этой сфере: постройка терминалов для разнообразнейших грузов, постройка перегрузочных комплексов, модернизация и закупка новых судов для Камчатского края и т. д. [5, 6].

В-третьих, проект СМП стимулирует создание новых рабочих мест в регионе посредством мультипликативного эффекта. Появятся множество новых объектов инфраструктуры, на которых необходимы будут различные специалисты: от обслуживающего технического персонала до профессиональных инженеров [7, 8].

В-четвертых, так как г. Петропавловск-Камчатский станет главным хабом СМП, это позволит привлечь множество судов с других регионов и стран в наш край. Денежная масса, в свою очередь, будет стягиваться в главный хабе СМП, частично оставаясь в данном хабе.

В целом проект можно оценить как один из самых приоритетных для Российской Федерации на данный момент. Он позволит расширить возможности торговли с иностранными государствами, уменьшит срок и стоимость доставки грузов морским путем, даст огромный толчок к развитию судоремонтных кластеров регионов страны. Но необходимо учитывать, что общий объем

финансирования мероприятий плана развития СМП до 2035 года составляет почти 1,8 трлн руб., что, безусловно, является огромной суммой. В конечном итоге данный стратегический проект позволит сэкономить огромную долю средств в сфере транспортировки грузов морским путем.

### Литература

1. Транзитно-логистический порт-хаб [Электронный ресурс] // Морские вести России, 2021. – № 9. – URL: <http://www.morvesti.ru/analitika/1691/91529/> (дата обращения: 20.09.2022)
2. План развития Северного морского пути на период до 2035 года [Электронный ресурс] // Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 1 августа 2022 г. № 2115 – URL: <phttp://static.government.ru/media/files/StA6ySKbVceANLRA6V2sF6wbOKSyxNzw.pdf> (дата обращения: 20.09.2022).
3. Белов О.А., Зайцев С.А. К вопросу оценки безопасности морских судов камчатского флота // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 80–83.
4. Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – Ч. 1. – С. 5–9.
5. Белов О.А. Техническое обеспечение морских судов как фактор эффективной и безопасной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Четвертой междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2022. – С. 5–9.
6. Белов О.А., Швецов В.А. К вопросу о повышении экологической безопасности судов при долговременном стояночном режиме // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2018. – С. 119–121.
7. Белов О.А., Белова Е.П. Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.
8. Белов О.А., Толстова Л.А. Моделирование процесса обучения курсантов для формирования навыков технической эксплуатации // Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 3 (16). – С. 78–81.

УДК 517.938

**Б.Г. Иванов, А.А. Тельнов, Е.М. Шилов, И.О. Чакляров, Н.А. Шока**

*Военно-морская академия,  
Санкт-Петербург, г. Пушкин, 196604  
e-mail: vunc-vmf@mail.ru*

### **НОВЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ЭТАПЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

В статье рассматривается подход к оценке устойчивости динамических систем. На основании критерия устойчивости А.В. Михайлова и теорем А.А. Маркова предлагается подход к определению устойчивости динамической системы.

**Ключевые слова:** динамическая система, устойчивость, критерии устойчивости, оценка устойчивости.

**B.G. Ivanov, A.A. Telnov, E.M. Shilov, I.O. Chaklyarov, N.A. Shoka**

*Naval Academy,  
St. Petersburg, Pushkin, 196604  
e-mail: vunc-vmf@mail.ru*

### **A NEW APPROACH IN DYNAMIC SYSTEMS STABILITY ASSESSMENT AT THEIR DESIGN STAGE**

The approach in dynamic systems stability assessing is discussed in the article. Based on the stability criterion of A.V. Mikhailov and the theorems of A.A. Markov, an approach to determine the dynamical system stability is proposed.

**Key words:** dynamic system, stability, sustainability criteria, sustainability assessment.

Известно, что динамическая система, движение которой описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами

$$a_0 \frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + a_2 \frac{d^{n-2} x}{dt^{n-2}} + \dots + a_{n-1} \frac{dx}{dt} + a_n x = Y(t), \quad (1)$$

где  $x$  – возмущаемая величина,  $Y(t)$  – возмущающая сила, асимптотически устойчива, если вещественная часть любого корня  $z = 1 + j\omega$  характеристического уравнения

$$a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + a_2 z^{n-2} + \dots + a_{n-1} z + a_n = 0. \quad (2)$$

Меньше нуля:

$$Re z < 0. \quad (3)$$

Это значит, что линейная динамическая система, будучи выведена из установившегося состояния возмущающими силами, после их исчезновения через некоторый промежуток времени возвращается к прежнему состоянию [1].

Наиболее широко применяемые в практике критерии устойчивости Гурвица, Найквиста и А.В. Михайлова в случае дифференциального уравнения высокого порядка требуют затраты длительного времени и громоздит вычислений или графических построений для получения ответа на вопрос об устойчивости системы. Из указанных критериев большие преимущества

в отношении простоты имеет критерий А.В. Михайлова, который в формулировке автора звучит так: если дифференциальное уравнение свободных колебаний исследуемой системы имеет вид

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + a_2 y^{(n-2)} + \dots + a_n = 0, \quad (1')$$

то для определения устойчивости необходимо найти функции  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$ , получающиеся от подстановки в уравнение (1') навязанного системе решения  $y = e^{j\omega t}$ :

$$[\varphi(\omega) + j\psi(\omega)] e^{j\omega t} = \bar{F}. \quad (2')$$

Если все естественные гармонические скорости системы  $\omega_{01}$ ,  $\omega_{02}$  и т. д., определяемые как корни уравнения

$$\varphi(\omega) = 0, \quad (3')$$

при изменении  $\omega$  от 0 до  $+\infty$  окажутся действительными, и если функция затухания  $\psi(\omega)$  имеет значения, отличные от нуля для всех естественных скоростей  $\omega_{01}$ ,  $\omega_{02}$  и т. д., и притом положительные для тех из них, для которых производная  $(\psi(\omega))'$  отрицательна, и отрицательные для остальных, то система будет устойчива [2].

То есть система будет устойчива, если функции  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  будут иметь вещественные разделяющиеся корни и если  $a_n$  и  $a_{n-1}$  будут одного и того же знака.

При практическом использовании данного критерия устойчивости необходимо найти вещественные корни уравнений:

$$\begin{aligned} \varphi(\omega) &= 0, \\ \psi(\omega) &= 0 \end{aligned}$$

или прибегнуть к построению радиуса-вектора  $\bar{r}(\omega) = \bar{\varphi}(\omega) + j\bar{\psi}(\omega)$  при изменении  $\omega$  от  $-\infty$  до  $+\infty$ , что при достаточно высоком порядке исходного дифференциального уравнения (1) требует затраты довольно длительного времени, хотя и меньшего, чем в случае, например, критерия Гурвица.

Зададимся вопросом, как же определить, разделяются или нет корни функций  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$ , не решая уравнений  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$ ?

Исходя из теорем русского математика А.А. Маркова следует:

1. Если корни полиномов  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  все вещественные, простые и разделяются, т. е. между любыми двумя корнями  $\varphi(\omega)$  есть корень  $\psi(\omega)$  и между любыми двумя корнями  $\psi(\omega)$  есть корень  $\varphi(\omega)$ , то уравнение

$$\lambda\varphi(\omega) + \mu\psi(\omega) = 0 \quad (4)$$

имеет все вещественные корни при любых вещественных  $\lambda$  и  $\mu$ .

2. Если все корни полинома

$$F(\omega) = \lambda\varphi(\omega) + \mu\psi(\omega) \quad (4a)$$

вещественны при любых вещественных  $\lambda$  и  $\mu$ , то корни полиномов  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  разделяются.

3. Если корни полиномов  $\varphi(\omega)$ ,  $\psi(\omega)$  все вещественные и разделяются, то корни их производных разделяются.

Очевидно, что из (4) следует необходимое условие устойчивости системы, описываемой линейным дифференциальным уравнением (1):  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  можно рассматривать как соответственно вещественную и мнимую части (при  $z = j\omega$ ) полинома, стоящего в левой части характеристического уравнения (2). Дополнительным условием, при котором достигается и достаточность

условий устойчивости, является совпадение знаков последнего и предпоследнего коэффициентов уравнения (2)  $a_n$  и  $a_{n-1}$ ; противоположные знаки этих коэффициентов (если корни  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  разделяющиеся) свидетельствуют о «полной» неустойчивости системы, т. е. о том, что все корни характеристического уравнения (2) находятся не в левой, а в правой полуплоскости комплексного переменного  $z$ , имея положительные вещественные части, что соответствует экспоненциально растущим с течением времени возмущениям [3].

На основании вышесказанного необходимо доказать, что если корни полиномов  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  все вещественные, простые и разделяются, т. е. между любыми двумя корнями  $\varphi(\omega)$  есть корень  $\psi(\omega)$ , и между любыми двумя корнями  $\psi(\omega)$  есть корень  $\varphi(\omega)$ , то уравнение

$$\psi(\omega) \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} - \varphi(\omega) \frac{d\psi(\omega)}{d\omega} = 0 \quad (5)$$

не имеет вещественных корней при изменении  $\omega$  от  $-\infty$  до  $+\infty$ .

Рассмотрим полиномы

$$F_1(\omega) = \lambda_1 \varphi(\omega) + \mu_1 \psi(\omega); \quad (6)$$

$$F_2(\omega) = \lambda_2 \varphi(\omega) + \mu_2 \psi(\omega), \quad (6a)$$

где  $\lambda_1, \lambda_2, \mu_1, \mu_2$  – любые вещественные числа, удовлетворяющие неравенству

$$\frac{\lambda_1}{\mu_1} \neq \frac{\lambda_2}{\mu_2}.$$

Возьмем производные от этих полиномов

$$\frac{dF_1(\omega)}{d\omega} = \lambda_1 \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} + \mu_1 \frac{d\psi(\omega)}{d\omega}; \quad (7)$$

$$\frac{dF_2(\omega)}{d\omega} = \lambda_2 \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} + \mu_2 \frac{d\psi(\omega)}{d\omega}. \quad (7a)$$

При этом  $\left. \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_1} \neq 0$  и  $\left. \frac{d\psi(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_2} \neq 0$ , и если  $\omega_1$  и  $\omega_2$  – корни полиномов  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$ ,

соответственно  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  содержат только простые корни.

Покажем, что корни  $F_1(\omega) = 0$  и  $F_2(\omega) = 0$  разделяющиеся и, следовательно,  $F_1(\omega)$  и  $F_2(\omega)$  не имеют кратных корней. Действительно, уравнение

$$\lambda F_1(\omega) + \mu F_2(\omega) = 0 \quad (8)$$

при любых вещественных  $\lambda$  и  $\mu$  содержит только вещественные корни, что видно из следующего:

$$\lambda F_1(\omega) + \mu F_2(\omega) = (\lambda\lambda_1 + \mu\lambda_2)\varphi(\omega) + (\lambda\mu_1 + \mu\mu_2)\psi(\omega) = 0. \quad (8a)$$

Так как  $(\lambda\lambda_1 + \mu\lambda_2)$  и  $(\lambda\mu_1 + \mu\mu_2)$  – любые вещественные числа, а корни полиномов  $\varphi(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  по условию разделяющиеся, то на основании (4) утверждаем, что корни уравнения (8a) все вещественные. На основании (4a) следует заключить, что корни полиномов  $F_1(\omega)$  и  $F_2(\omega)$  не имеют кратных корней и, следовательно, не имеют общих корней со своими производными  $\frac{dF_1(\omega)}{d\omega}$  и  $\frac{dF_2(\omega)}{d\omega}$ .

Таким образом, если  $\omega_k$  – любой из корней

$$F_1(\omega_k) = \lambda_1 \varphi(\omega_k) + \mu_1 \psi(\omega_k) = 0, \quad (8б)$$

и поэтому

$$\frac{\varphi(\omega_k)}{\psi(\omega_k)} = -\frac{\mu_1}{\lambda_1}, \quad (9)$$

то при том же  $\omega_k$ , которое может быть любым вещественном числом в интервале  $-\infty < \omega_k < +\infty$ , отношение

$$\left. \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} : \frac{d\psi(\omega)}{d\omega} \right|_{\omega=\omega_k} \neq -\frac{\mu_1}{\lambda_1}. \quad (9а)$$

Из (9) и (9а) следует, что уравнение (5) не имеет вещественных корней при изменении  $\omega$  от  $-\infty$  до  $+\infty$ , что и требовалось доказать.

Из характеристического уравнения (2) находим, что при  $z = j\omega^1$

$$\left. \begin{aligned} \varphi(\omega) &= \text{sign}(j^n)(a_0\omega^n - a_2\omega^{n-2} + a_4\omega^{n-4} - \dots + a_n), \\ \psi(\omega) &= \text{sign}(j^{n-1})(a_1\omega^{n-1} - a_3\omega^{n-3} + a_5\omega^{n-5} - \dots + a_{n-1}\omega), \\ \frac{d\varphi(\omega)}{d\omega} &= \text{sign}(j^n)[na_0\omega^{n-1} - (n-2)a_2\omega^{n-3} + (n-4)a_4\omega^{n-5} - \dots + 2a_{n-2}\omega], \\ \frac{d\psi(\omega)}{d\omega} &= \text{sign}(j^{n-1})[(n-1)a_1\omega^{n-2} - (n-3)a_3\omega^{n-4} + (n-5)a_5\omega^{n-6} - \dots + a_{n-1}]. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Уравнение (5) после преобразования  $\varphi(\omega)$ ,  $\psi(\omega)$ ,  $\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}$ ,  $\frac{d\psi(\omega)}{d\omega}$  соответствующими выражениями из (10) приобретет следующий вид:

$$a_0a_1\omega^{2n-2} + (a_1a_2 - 3a_0a_3)\omega^{2n-4} + (a_2a_3 - 3a_1a_4 + 5a_0a_5)\omega^{2n-6} + \dots + a_n a_{n-1} = 0. \quad (11)$$

Переменная  $\omega$  в нем содержится только в четной степени. Заменяв  $\omega^2 = x$ , получим уравнение, которое мы назовем определяющим уравнением:

$$A_0x^{n-1} + A_1x^{n-2} + A_2x^{n-3} + \dots + A_{n-1} = 0, \quad (12)$$

где  $n$  – порядок исследуемого дифференциального уравнения (1), описывающего движение некоторой динамической системы, а коэффициенты  $A_0, A_1$  и т. д. равны:

1.  $A_0 = a_0a_1$ .
2.  $A_1 = a_1a_2 - 3a_0a_3$ .
3.  $A_2 = a_2a_3 - 3a_1a_4 + 5a_0a_5$ .
- К.  $A_{k-1} = a_{k-1}a_k - 3a_{k-2}a_{k+1} + \dots + (-1)^{i+1}(2i-1)a_{k-i}a_{k+i} + \dots + (-1)^{2k}(2k-1)a_{k0}a_{2k-1}$ .
- .....
- н.  $A_{n-1} = a_{n-1}a_n$ .

Если дифференциальное уравнение (1) описывает выражение устойчивой системы и, следовательно, корни  $\varphi(\omega)$ ,  $\psi(\omega)$ ,  $\frac{d\varphi(\omega)}{d\omega}$ ,  $\frac{d\psi(\omega)}{d\omega}$  – соответственно разделяющиеся, то коэффициенты (13)



должны быть такими, чтобы среди корней уравнения (11) не было ни одного вещественного или среди корней определяющего уравнения (12) – ни одного положительного (или равного нулю).

На основании всего вышеизложенного приходим к следующим выводам:

1. Если все коэффициенты определяющего уравнения положительны, то данная динамическая система устойчива.

2. Если ряд коэффициентов  $A_0, A_1, \dots, A_{n-1}$  содержит нечетное число перемен знаков, то исследуемая динамическая система неустойчива.

3. Если ряд коэффициентов (13) содержит четное число перемен знаков, то исследуемая динамическая система может быть устойчивой или неустойчивой; вопрос об устойчивости не решается рассмотрением только ряда (13).

В общем случае проверку устойчивости системы предложенным подходом нужно производить в следующем порядке:

1. Составить определяющее уравнение.

2. С помощью известных способов определить, существуют ли такие положительные значения  $x$ , при которых полином, стоящий в левой части уравнения (12), был бы отрицательным или равным нулю. Если такие значения  $x$  есть, то система неустойчива, а если нет – то система устойчива.

Недостатки этого метода определения устойчивости почти такие же, как и в методе Гурвица, хотя влияние на устойчивость отдельных параметров системы может быть определено проще. Для систем, описываемых дифференциальными уравнениями относительно низкого порядка (до  $n = 5 \div 6$ ), удобнее пользоваться критерием Гурвица, а для систем, описываемых дифференциальными уравнениями более высокого порядка, – предлагаемым методом, причем преимущества его в отношении быстроты вычислений перед критерием Гурвица увеличиваются с ростом порядка дифференциального уравнения.

Предлагаемый подход определения устойчивости систем, движение которых описывается линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами, заменяет трудную задачу определения знака вещественных составляющих комплексных корней характеристического уравнения более простой задачей отыскания или, точнее, установления факта наличия или отсутствия положительных корней в определяющем уравнении, что проще всего можно сделать каким-либо графическим способом и в крайнем случае – использованием способа Штурма отделения вещественных корней.

### Литература

1. *Боровков А.А.* Эргодичность и устойчивость случайных процессов. – М.: Эдиториал УРСС, 1999. – 440 с.

2. *Пономарева В.М., Литвинов А.П.* Основы автоматического регулирования и управления. – М.: Высшая школа, 1974. – 439 с.

3. *Воронов А.А., Бабаков Н.А., Воронова. А.А.* Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с.

УДК 656.085:629.5

**Д.О. Омельченко, К.Р. Федосеев**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: dimy41@mail.ru*

## **АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА РЫБОЛОВЕЦКИХ СУДАХ ТИПА БАТМ**

В настоящее время все больше внимания уделяется безопасности судоходства. 90% судов рыбопромыслового флота – неэффективные, физически изношенные и устаревшие суда, построенные в Советском Союзе в 1960–1980-х годах, с высокой энергоемкостью. Из-за плачевного состояния рыболовецкого флота возрастает вероятность выхода из строя оборудования, что приводит к все большему количеству аварийных ситуаций в море. Для решения этой задачи необходимо проводить анализ статистики аварийных случаев с разбирательством причин, факторов, способствующих их возникновению.

**Ключевые слова:** аварийность, надежность, безопасность, эффективность, техническое обслуживание, техническая эксплуатация.

**D.O. Omelchenko, K.R. Fedoseev**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: dimy41@mail.ru*

## **ANALYSIS OF MARINE EQUIPMENT ACCIDENT RATE ON LARGE FREEZING TRAWLERS**

Currently, more attention is being paid to the safety of navigation. 90% of vessels of the fishing fleet are inefficient, physically worn out and outdated vessels built in the Soviet Union during 1960s-1980s, with high energy consumption. Due to the deplorable state of the fishing fleet, the probability of equipment failure increases, which leads to an increasing number of emergencies at sea. To solve this problem it is necessary to analyze the statistics of accidents with the investigation of the causes, factors contributing to their occurrence.

**Key words:** accident rate, reliability, safety, efficiency, maintenance, technical operation.

Согласно официальным данным АО «Океанрыбфлот», на больших автономных морозильных траулерах проекта 1288 типа «Пулковский меридиан» ежегодно происходят аварийные отказы элементов основного и вспомогательного оборудования. Важной задачей технической эксплуатации судов является предупреждение аварийности и снижение количества внезапных отказов. Для решения этой задачи разработаны комплексы мероприятий, которые внедряются на судах при повседневной эксплуатации рыбопромыслового флота. Однако для своевременной корректировки этих мероприятий и качественной оценки их эффективности необходимо проведение комплексного анализа аварийности на судах [1, 2].

Для проведения анализа аварийности руководством АО «Океанрыбфлот» были предоставлены данные на суда типа БАТМ. Данный тип судов выпускался массовой серией, является достаточно распространенным и продолжает эксплуатироваться по назначению. Информация была предоставлена по судам «Александр Ксенофонов», «Хотин» и «Иртышск». Суда данного типа предназначены для промысла рыбы пелагическими и донными тралами, а также самостоятельной обработки, замораживания и хранения улова, производства из него готовой продукции в виде консервов, переработка производственных отходов и прилова на муку. Основные объекты промысла траулера – минтай, треска и сельдь. Их районы плавания – Берингово море, Охотское море [3, 4].

Анализ аварийности проводился за десятилетний период с оценкой интенсивности внезапных отказов и разбором их причин. Диаграмма интенсивности отказов БАТМ «Александр Ксенофонов» представлена на рис. 1.

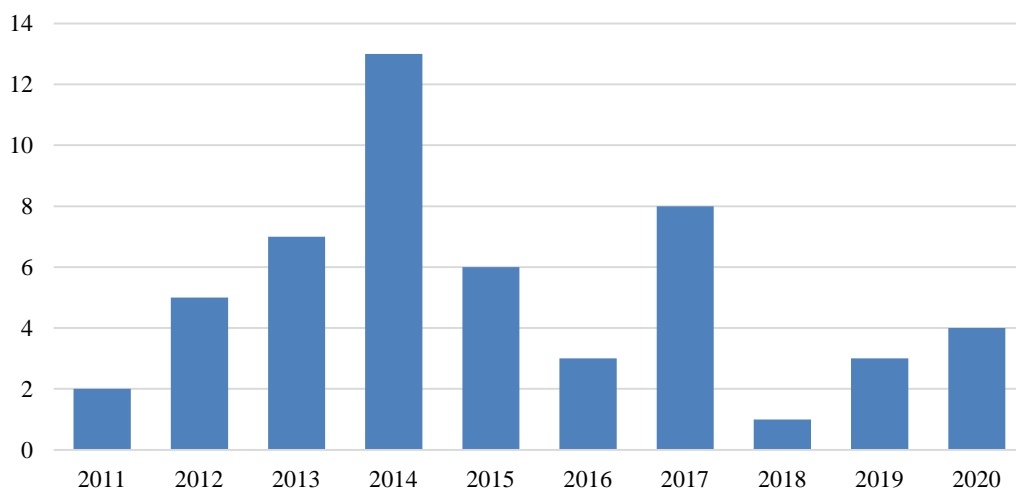


Рис. 1. Диаграмма интенсивности отказов БАТМ «Александр Ксенофонтов» за период 2011–2020 гг.

БАТМ «Александр Ксенофонтов» был построен в 1982 году. Анализ диаграммы показал, что в 2014 году произошло 13 отказов оборудования, фактический разбор которых показал следующее:

- 23.01.2014 в результате короткого замыкания в ЦПУ в стойке КРУ 7-2 произошло возгорание катушки реле автозапуска насосов охлаждения забортной водой и топливоподкачивающих насосов ГД № 2;
- 07.02.2014 – обрыв шпилек крышек цилиндров ГД № 1: цилиндр №1 – одна шт., цилиндр № 2 – одна шт. (08.02.2014 выкрутить не удалось);
- 08.02.2014 – обрыв шпильки крышки цилиндра № 2 ГД № 1 (рядом с оборванной ранее); начался пропуск газов из-под крышки цилиндра;
- 28.07.2014 вышел из строя электродвигатель насоса смазки редуктора «RENK», взяли из экспедиционного ЗИПа;
- 13.10.2014 – необходима замена (ремонт) лебедки ЛЭ-69 для стягивания троса;
- 06.11.2014 через 4 дня после настройки вышел из строя блок компандного регулятора напряжения, заменен из ЗИПа;
- 23.12.2014 – обрыв анкерной шпильки цилиндра № 2 ГД № 1.

Анализ показывает, что наименее надежным элементом на данном суде с точки зрения интенсивности отказов является ГД № 1. Требуется корректировка мероприятий для повышения его надежности [5].

Диаграмма интенсивности отказов БАТМ «Хотин» представлена на рис. 2.

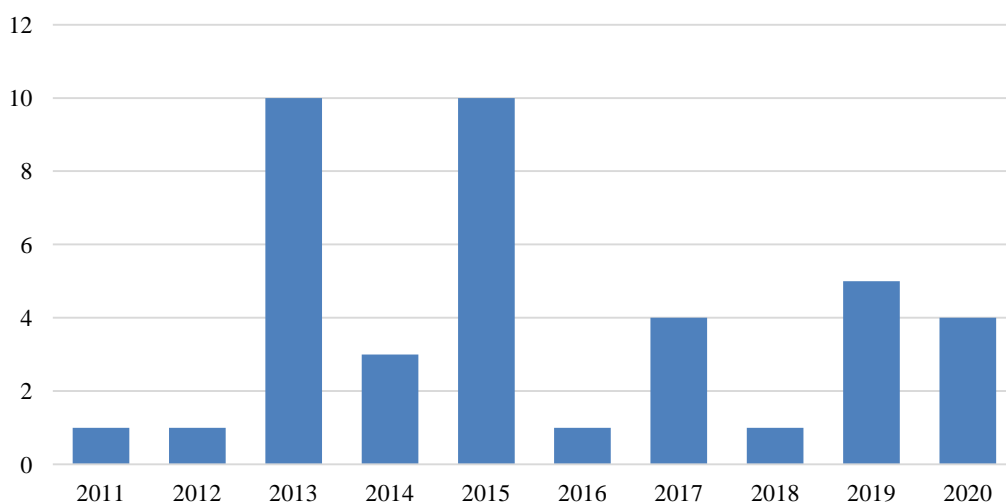


Рис. 2. Диаграмма интенсивности отказов БАТМ «Хотин» за период 2011–2020 гг.

БАТМ «Хотин» был построен в 1985 году. Анализ диаграммы показал, что в 2013 и 2015 годах произошло по 10 аварийных отказов оборудования, среди которых:

- 15.02.2013 – вышла из строя грунтроповая лебедка ЛЭ – 96 № 2: разрушение зубчатого венца и сателлитов планетарного редуктора барабана;
- 19.02.2013 – ремонт шпиля Ш-4 № 2 – разрушение подшипника грузового вала – шестерни, как следствие – частичное повреждение зубьев колес и шестерен (после ремонта в Корее); причина отказа шпиля – перегруз при выполнении промысловых операций;
- 03.11.2013 – отказ электродвигателя промышленно-грузовой лебедки № 6; причина – после работы оставили включенной на 1-й скорости «на вире», как следствие перегрев, вытекание лака из обмоток, понижение сопротивления изоляции;
- 13.01.2015 – вышел из строя электродвигатель шлюпочной лебедки № 1 по причине попадания морской воды в кнопку управления; после получения электродвигателя был произведен осмотр центробежной муфты, выяснилось, что восстановлению в судовых условиях не подлежит, требуется агрегатная замена;
- 04.02.2015 – котел КАВ 4/7 был остановлен для чистки диффузора; при осмотре топочно-го пространства визуально было обнаружено поступление воды из трубок конвективного пучка (1 трубка) и опускных трубок (2 трубки); общее количество заглушенных трубок – 14 штук;
- 20.02.2015 – вышел из строя электродвигатель (вторая скорость) МАП 622 6/12/24 грузовой лебедки № 5;
- 15.06.2015 – сгорел электродвигатель рефрижераторного компрессора S3-900 № 1;
- 25.07.2015 – в результате межвиткового замыкания сгорел электродвигатель МАП 422 ОМ1 4/8 шпиля № 2 (межвитковое замыкание на двух скоростях);
- 30.08.2015 – сгорел электродвигатель 4АМ132М2М РОМ5, 380 В, 11 кВт, 3000 об/мин мельницы РМУ.

Анализ показывает, что на БАТМ «Хотин» за рассматриваемый период наибольшая интенсивность отказов наблюдалась на палубных механизмах и электродвигателях. Однотипные аварийные отказы электродвигателей свидетельствуют о необходимости повышения качества эксплуатации судового электрооборудования [6, 7].

Диаграмма интенсивности отказов БАТМ «Иртышск» представлена на рис. 3.

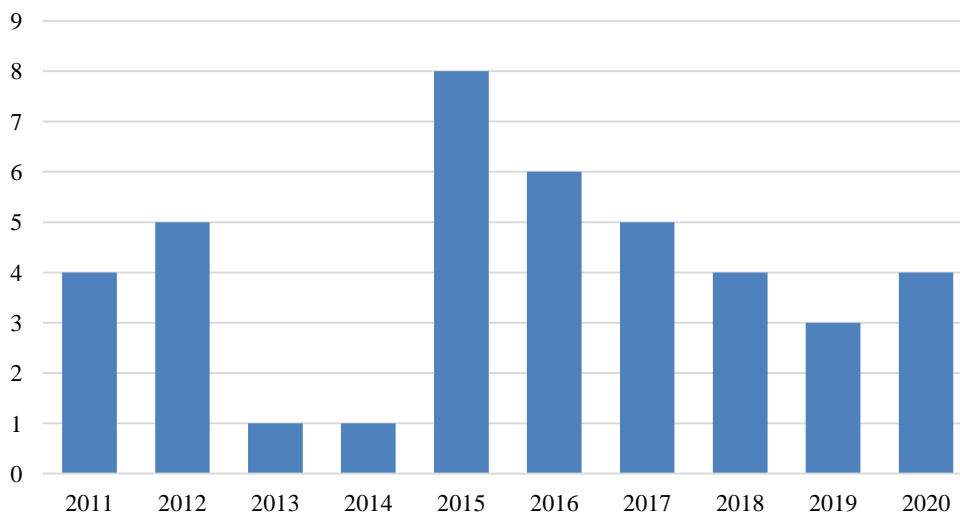


Рис. 3. Диаграмма интенсивности отказов БАТМ «Иртышск» за период 2011–2020 гг.

БАТМ «Иртышск» был построен в 1985 году. Анализ диаграммы показал, что в 2015 году произошло 8 аварийных отказов оборудования, среди которых:

- 01.04.2015 вышел из строя нагревательный элемент FX-35 оттайки поддона трюма № 1 (установлен в Корее 05.12.2014);
- 06.09.2015 во время перемотки ваеров вырвало промерочный блок с правого борта;
- 29.09.2015 вышел из строя электродвигатель АНУ-82-2-ОМ5 45 кВт 3000 об/мин пожарного насоса НЦВ 100/80 №2 (обломан вал ротора);

– 07.11.2015 – вышел из строя электродвигатель вентилятора ЭВО № 76 МКО (обрыв фазы в обмотке).

Анализ показывает, что на БАТМ «Иртышск» большая часть аварийных происшествий связана с нарушением эксплуатации оборудования и снижением надежности отдельных элементов в связи с выработкой ресурса. Требуется проведение комплексных восстановительных мероприятий с целью повышения надежности [8].

Таким образом, на всех трех представленных судах за рассматриваемый период наблюдается неравномерный, но достаточно высокий уровень аварийности. Учитывая однотипность этих судов, равные возрастные характеристики и одинаковые условия эксплуатации, можно предположить, что общая система технической эксплуатации судов данного типа требует реконструкции. Следует обратить внимание на построение системы технического обслуживания и ремонта, на систему материально-технического обеспечения, а также на систему кадрового обеспечения [9, 10].

Комплексный анализ интенсивности отказов на судах типа БАТМ в АО «Океанрыбфлот» за период с 2010 г. по 2020 г. представлен на рис. 4.

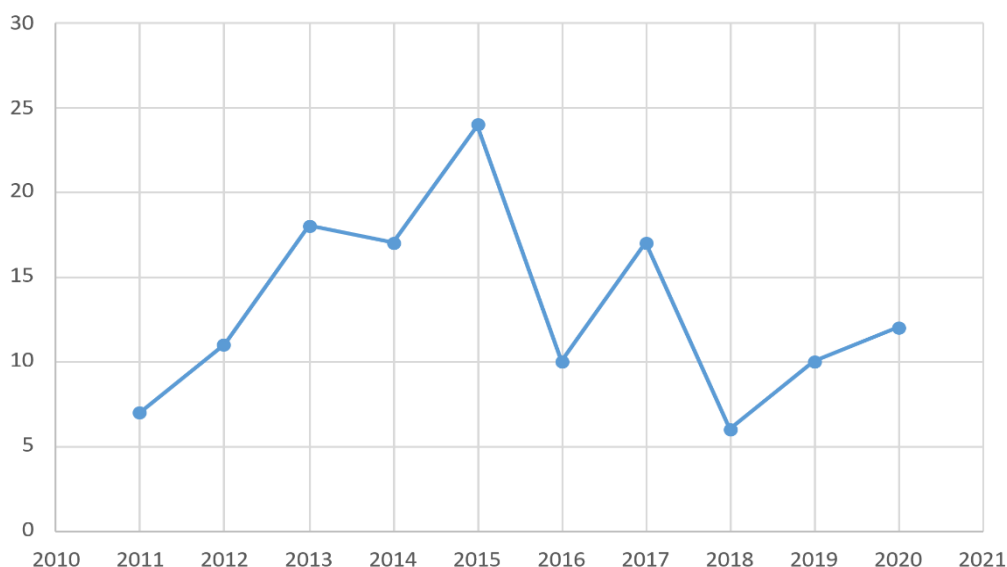


Рис. 4. Диаграмма общей интенсивности аварийных отказов на судах типа БАТМ в АО «Океанрыбфлот» за период 2010–2020 г.

Исходя из анализа статистики общего количества поломок (рис. 4), наибольшее их количество происходило в 2015 году. Основными причинами являются износ частей оборудования, факторы внешней среды и человеческие факторы.

В заключение хотелось бы отметить, что частота аварий оборудования на рыбопромысловом флоте неразрывно связана с качеством подготовки судового экипажа, выработкой необходимого ряда навыков в рамках профессионального становления и обучения, а также с неудовлетворительным состоянием оборудования устаревших судов [11, 12].

Необходимо признать, что человеческий фактор является важнейшим в предотвращении аварий судового оборудования при эксплуатации, ведь такие критерии, как отношение личного состава, теоретические знания, грамотность, умение анализировать полученную информацию, опыт работы играют в этом важную роль.

Контролировать эти критерии можно путем разработки программ обучения, улучшения качества подготовки на современных тренажерных комплексах, которые бы учитывали влияние на негативные стороны специалиста. А также необходима комплексная модернизация судов с внедрением современного оборудования, эффективных технологических процессов и качественной системы технической эксплуатации.

В целом функционирование системы обеспечения эффективной и безопасной эксплуатации судов невозможно без отлаженной системы финансирования, эффективной правовой базы и комплексного научного обеспечения производства [13].

### Литература

1. Белов О.А., Зайцев С.А. К вопросу оценки безопасности морских судов Камчатского флота // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 80–83.
2. Белов О.А. Оценка безопасности эксплуатации судовых энергетических установок // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 42. – С. 6–10.
3. Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – Ч. 1. – С. 5–9.
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. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 11–16.
6. Белов О.А., Мясников Г.С. Внедрение комплексной защиты судовых асинхронных электроприводов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 73–76.
7. Кротенко Д.С., Белов О.А. Моделирование процессов оптимизации режимов судовой электроэнергетической системы при электропитании от береговой сети // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 77–80.
8. Гальянов А.П. Технология и организация судоремонта в рыбной промышленности – М.: Агропромиздат, 1988. – 303 с.
9. Белов О.А., Белова Е.П. Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.
10. Белов О.А., Толстова Л.А. Моделирование процесса обучения курсантов для формирования навыков технической эксплуатации // Вестник Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 3 (16). – С. 78–81.
11. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты // Международная морская организация. – Лондон: ИМО, 2013. – 413 с.
12. Белов О.А., Швецов В.А. К вопросу о повышении экологической безопасности судов при долговременном стояночном режиме // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы IX всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2018. – С. 119–121.
13. Белов О.А. Техническое обеспечение морских судов как фактор эффективной и безопасной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Четвертой междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2022. – С. 5–9.

УДК 539.3/.6:629.5

**М.Д. Сгибнев, С.Н. Царенко**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: maksim1.0.1@mail.ru*

### **ДИНАМИКА МАЧТОВЫХ И АНТЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ АВАРИЙНОМ СТОЛКНОВЕНИИ СУДНА С ПРЕПЯТСТВИЕМ**

В работе исследуются динамические напряжения и деформации мачтовых и антенных сооружений, вызванные внезапным изменением скорости судна за счет столкновения с препятствием. В качестве математической модели принят одномассовый консольный стержень на нестационарной опоре. Решение уравнения движения массы получено с использованием ряда Фурье. В качестве примера исследованы деформации и напряжения в мачте в круизно-гоночной трейлерной яхты «Кавалер-800» при внезапном снижении скорости на 50% и полной остановке судна.

**Ключевые слова:** мачта, антенна, одномассовая модель, консольный стержень, удар, ряд Фурье, частота собственных колебаний.

**M.D. Sgibnev, S.N. Tsarenko**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: maksim1.0.1@mail.ru*

### **DYNAMICS OF MAST AND ANTENNA STRUCTURES IN CASE OF EMERGENCY VESSEL COLLISION WITH AN OBSTACLE**

The dynamic stresses and deformations of mast and antenna structures caused by a sudden change in the speed of the vessel due to collision with an obstacle are examined in the paper. A single-mass cantilever rod on a non-stationary support is adopted as a mathematical model. The solution of the equation of mass motion is obtained using the Fourier series. As an example, deformations and stresses in the mast in the cruise-racing trailer yacht "Cavalier 800" were studied with a sudden decrease in speed by 50% and a complete stop of the vessel.

**Key words:** mast, antenna, single-mass model, cantilever rod, blow, Fourier series, natural oscillation frequency.

Мачтовые и антенные конструкции, используемые на различных плавательных средствах, подвергаются интенсивному динамическому воздействию, преимущественно это ветровая нагрузка [1]. При этом инерциальные силы, передаваемые корпусом судна, не принимаются в расчет или учитываются в коэффициенте запаса [2]. Такой подход справедлив для нормальных условий эксплуатации плавательного средства, однако в аварийных ситуациях динамические усилия могут достигать значительных величин и приводить к поломке мачты или антенны. Из-за разнообразия возникновения динамических процессов нет четко алгоритмизированных и унифицированных подходов к решению подобных задач. Несмотря на многообразие всех видов мачтовых и антенных сооружений, для случая воздействия ударной нагрузки можно выделить некоторые общие черты: нагружение конструкции происходит силами инерции за счет резкого изменения скорости судна.

Для исследования динамики упругих систем в качестве модели часто используют упругие стержни с одной сосредоточенной массой или как системы с конечным количеством дискретных, а также с распределенными параметрами. Одномассовые модели могут применяться как самостоятельные, когда сосредоточенная масса груза или оборудования значительно превышает массу самой конструкции, например: ветрогенераторы, водонапорные башни, башенные краны и пр. [3],

в приближенных расчетах [4] или применяться для аппроксимации системы главной формой колебаний в моделях с дискретными и распределенными параметрами [5].

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) антенных и мачтовых сооружений, возникающих при аварийных столкновениях судна с препятствием.

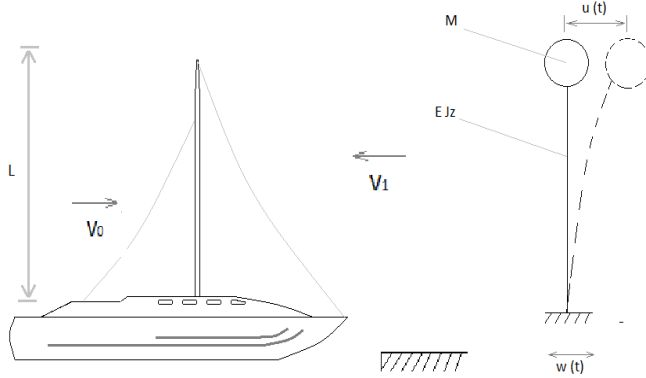


Рис. 1. Расчетная схема одномассовой консольной конструкции

Перемещение массы рассматривается как сложное, складывающееся из переносного движения опоры  $w(t)$  и относительного колебательного движения  $u(t)$ , полное перемещение –  $y(t) = w(t) + u(t)$  (рис. 1). Для данного условия уравнение перемещения массы без рассмотрения действия диссипативных сил принимает вид:

$$M\ddot{y} = R \quad (1)$$

где  $R = -u / \delta_1$  – упругая реакция;  $\delta_1 = l^3 / (3EJ_z)$  – перемещение от единичной силы для консольного стержня;  $l$  – длина консоли;  $EJ_z$  – изгибная жесткость стержня. Подставив выражения для силы и перемещения в формулу (1), получим уравнение относительного движения:

$$\ddot{u} + \omega^2 u = -\ddot{w}, \quad (2)$$

где  $\omega = \sqrt{3EJ_z / (Ml^3)}$  – частота собственных колебаний.

Для решения уравнения (2) в соответствии с предложенным в работе [6] алгоритмом разложим функцию  $w(t)$  для рассматриваемого периода времени  $T$  в ряд по синусам:

$$w(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_{wn} \sin \frac{\pi n t}{T}, \quad (3)$$

где  $a_{wn}$  – коэффициенты разложения функции в ряд Фурье.

Тогда решение уравнения (2) можно представить в виде:

$$u(t) = \frac{\dot{y}_0}{\omega} \sin \omega t + y_0 \cos \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_{wn} \pi^2 n^2}{\omega^2 T^2 - \pi^2 n^2} \left( \sin \frac{\pi n t}{T} - \frac{\omega T}{\pi n} \sin \omega t \right), \quad (4)$$

здесь  $y_0, \dot{y}_0$  – перемещение и скорость массы в начальный момент времени.

Полное перемещение массы определяется зависимостью:

$$y(t) = \frac{\dot{y}_0}{\omega} \sin \omega t + y_0 \cos \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_{wn} \omega^2 T^2}{\omega^2 T^2 - \pi^2 n^2} \left( \sin \frac{\pi n t}{T} - \frac{\pi n}{\omega T} \sin \omega t \right). \quad (5)$$

**Расчетные зависимости.** Для решения поставленной задачи мачтовую или антенную конструкцию будем рассматривать как консольный упругий безынерционный стержень с сосредоточенной массой на конце. Для замены распределенной сосредоточенной массы используется известный метод приведения масс [4]. Опора стержня рассматривается как нестационарная, а ее перемещение определяется законом движения судна, при этом пока ограничимся случаем только поступательного движения (рис. 1).

Для получения расчетных зависимостей используем подход аналогичный принятому в работе [6], т. е. пере-



Рассмотрим случай, когда в соответствии с элементарной теорией удара судно внезапно изменит скорость с  $v_0$  на  $v_1$ , в этом случае перемещение судна (опоры) можно представить в виде:

$$w(t) = v_1 t. \quad (6)$$

Разложим функцию (6) за некоторый промежуток времени  $T$ , который в произведении с собственной частотой  $\omega$  не должен быть кратен  $\pi n$ , в ряд Фурье по синусам, тогда коэффициенты ряда (3) будут определяться зависимостью:

$$a_{\omega n} = (-1)^{n-1} \frac{2v_1 T}{\pi n}. \quad (7)$$

С учетом коэффициентов (7) по формулам (3)–(5) определяется переносное, относительное и абсолютное движение массы. Изгибающий момент и максимальные напряжения в заделке определяются зависимостями:

$$M(t) = \frac{1}{\delta_1} u(t) l = \frac{3EJ_z}{l^2} u(t);$$

$$\sigma(t) = \frac{3Eh_{\max}}{l^2} u(t), \quad (8)$$

где  $h_{\max} = J_z/W_z$  – максимальная ордината точки сечения стержня;  $W_z$  – момент сопротивления стержня.

При использовании описанного выше подхода желательно период  $T$ , на котором раскладывается функция перемещений в ряд Фурье, принимать меньше отношения  $\pi/\omega$ , чтобы избежать резонанса с одной из форм разложения.

**Результаты моделирования.** В качестве примера возьмем параметры конструкции мачты круизно-гоночной трейлерной яхты «Кавалер-800», основные конструктивные параметры которой имеются в общем доступе [7]. Исходные данные для расчета: длина мачты  $l = 11,55$  м, профиль мачты  $130 \times 80 \times 2,5$  мм (площадь поперечного сечения  $A = 8,25$  см<sup>2</sup>, максимальный момент инерции  $J_z = 165$  см<sup>4</sup>, минимальный момент инерции  $J_y = 82,2$  см<sup>4</sup>), материал АМг 6 (плотность  $\rho = 2\,640$  кг/м<sup>3</sup>, модуль упругости первого рода  $E = 0,71 \cdot 10^5$  Мпа, предел текучести  $\sigma_T = 145$  МПа [8]), начальную скорость примем соответствующую средней –  $v_0 = 5$  м/с. При расчете инерциальные характеристики паруса, а также его диссипативный эффект, на данном этапе не учитывались. В соответствии с методом приведения масс коэффициент приведения для консольной балки будет  $\xi = 0,257$ , таким образом получим сосредоточенную массу  $M = \xi l A \rho = 6,46$  кг.

На графике рис. 2 показано изменение нормальных напряжений в основании мачты при уменьшении скорости яхты за счет удара в два раза ( $v_1 = 2,5$  м/с). На рис. 3 представлен график изменения напряжений в основании мачты при неупругом ударе, который приводит к полной остановке яхты ( $v_1 = 0$  м/с).

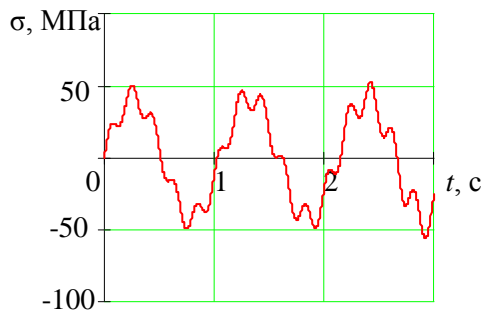


Рис. 2. Нормальные напряжения в основании мачты при уменьшении скорости за счет удара на 50% ( $v_1 = 2,5$  м/с)

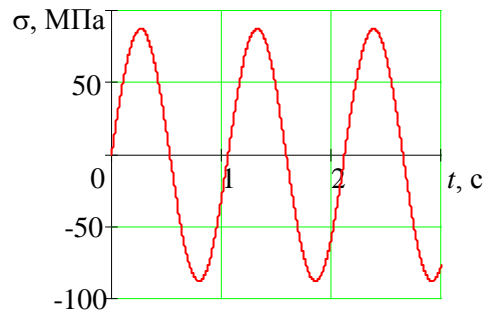


Рис. 3. Нормальные напряжения в основании мачты при полной остановке судна за счет удара ( $v_1 = 0$ )

Полученные результаты моделирования напряженно-деформированного состояния мачты показали, что в аварийных ситуациях инерционные нагрузки могут вызывать значительные напряжения (более 50% от предела текучести), что в совокупности с рабочей нагрузкой может приводить к разрушению конструкции. Но при этом надо учитывать, что в принятой расчетной схеме имеются значительные упрощения. В дальнейшем модель мачты может быть уточнена за счет принятия системы с распределенными параметрами вместо безынерциального стержня, а также учетом переменной жесткости мачты и наличием дополнительных упругих связей в узлах крепления вант.

### Литература

1. Расчет и строительство парусного судна [Электронный ресурс]. – URL: <https://pandia.ru/text/77/441/80595.php> (дата обращения: 28.09.2022).
2. Расчет мачт [Электронный ресурс]. – URL: <https://сус-yachts.ru/raschet-macht/> (дата обращения: 28.09.2022).
3. Сейсмостойкое строительство зданий: Учеб. пособие для вузов / Под ред. И.Л. Корчинского. – М.: Высш. школа, 1971. – 320 с.
4. Шевченко Ф.Л., Царенко С.Н. Задачи по сопротивлению материалов. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – 356 с.
5. Джинчвелашвили Г.А. Нелинейные динамические методы расчета зданий и сооружений с заданной обеспеченностью сейсмостойкости: дис. ... д-ра техн. наук – М., 2015. – 427 с.
6. Царенко С.Н., Сгибнев М.Д. Моделирование сейсмических воздействий на основе упругой одномассовой системы с нестационарной опорой // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий. – 2022. – Выпуск 2022-3 (155). – С. 47–53.
7. «Кавалер 800» – проект круизно-гоночной трейлерной яхты [Электронный ресурс] – URL: [https://vodnyimir.ru/Kavaler800\\_kruizno\\_gonochnaya\\_treilernaya\\_yahta.html](https://vodnyimir.ru/Kavaler800_kruizno_gonochnaya_treilernaya_yahta.html) (дата обращения: 28.09.2022).
8. Цветные металлы и металлопрокат. АМг5, АМг6 [Электронный ресурс]. – URL: <https://poliasmet.ru/svoystva-alyuminiya/amg5-amg6.html> (дата обращения: 28.09.2022).

УДК 62-144:621.43

**Р.М. Трибунская**

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

### **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Объектом исследования является анализ факторов влияния на надежность и долговечность поршневых колец судовых двигателей внутреннего сгорания, а также методов повышения их ресурса. Рассматривается многофункциональное легирование, обеспечивающее достаточно высокую прочность металлической основы колец, что способствует повышению надежности.

**Ключевые слова:** упрочнение, адгезионное разрушение, реверсивное трение, структура матрицы, полигональные карбиды, плотность дислокаций, легирующие элементы.

**R.M. Tribunskaya**

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

### **ON ISSUE OF IMPROVING PISTON RINGS RELIABILITY OF MARINE INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

The object of the study is the analysis of factors influencing the reliability and durability of piston rings of marine internal combustion engines, as well as methods for increasing their service life. Multifunctional alloying providing sufficiently high strength of the rings metal base that increases reliability is considered.

**Key words:** hardening, adhesive fracture, reversible friction, matrix structure, polygonal carbides, dislocation density, alloying elements.

Периодичность технического обслуживания цилиндропоршневой группы определяется ресурсом поршневых колец. Ресурс поршневых колец большинства типов малооборотных дизелей достаточно высок: отказы колец возникают при наработке их от 4 до 7 тыс. ч (см. таблицу). Однако наблюдаются случаи отказа при наработке колец менее 3 тыс. ч (двигатели K8Z70/120E и др.) Поршневое кольцо изнашивается по рабочей поверхности, соприкасающейся со втулкой цилиндра, и по торцевым плоскостям, соприкасающимся с верхней и нижней поверхностями канавки поршня.

Надежность поршневых колец судовых двигателей внутреннего сгорания складывается из следующих критериев: микроструктура сплава, технология изготовления, упрочняющая обработка, геометрические параметры [1, 2].

Поршневые кольца работают в условиях реверсивного трения, высокой тепловой и механической напряженности при воздействии абразивной и агрессивной сред, масляном голодании, способствующих разрыву защитных разделяющих пленок, и изнашиваются в основном вследствие адгезионного разрушения [3].

Поверхностный слой должен иметь верхние разрыхленные объемы металла с положительным градиентом механических свойств и достаточно твердые нижележащие слои, способные сопротивляться пластическому деформированию.

Продукты сгорания топлива в цилиндре способствуют ускорению усталостно-коррозионных процессов. Вследствие чего при фрикционном воздействии поверхностные слои ослабляются и охрупчиваются.

В настоящее время разработаны технологические процессы и оборудование, позволяющие упрочнять поверхности колец. Но первостепенное значение в повышении надежности и долговечности поршневых колец СДВС остается за качеством исходного сплава.

#### Наработка до отказа поршневых колец малооборотных дизелей

Марка дизеля	Наработка до отказа, тыс. ч	
	Компрессионные	Маслосъемные
Фирма «MAN»		
K8Z57/80E	4,8–5,4	9,1–9,6
K6Z57/80C	6,0–6,3	7,2
K6Z57/80A	6,0–6,7	7,8
K6Z70/120A	4,0–4,3	4,9
K8Z70/120E	2,6–3,1	6,0–6,2

Проведенные комплексные исследования оценки свойств материалов, применяемых для колец поршневых, показали, что специальные чугуны с ферритокарбидной основой, имеющей равномерно распределенные в матрице полигональные или тригональные карбиды, характеризуются несколько большей износостойкостью.

На основании многолетних исследований серого и высокопрочного чугуна, применяемых для колец поршневых СДВС, установлено, что основное влияние на интенсивность изнашивания и механические свойства чугуна оказывает характер микроструктуры: количество, размеры, форма и степень разобшенности графитовых включений, что является своеобразным индикатором строения чугуна. Структурно свободный феррит вокруг графитовых включений не должен превышать 8–10% (П85), т. к. активизирует схватывание при трении [4].

Микроанализ поверхностных слоев поршневых колец показывает, что пластическая деформация повышает процессы диффузии и массопереноса. Увеличение плотности дислокаций и других точечных дефектов способствует массопереносу таких легирующих элементов, как медь, никель, хром, которые повышают свойства вторичных структур. Эти элементы образуют карбиды и упрочняют феррит, что эффективно повышает сопротивление деформированию, препятствуя развитию деформационных процессов [5].

Таким образом, подбор оптимального состава основных легирующих элементов (хрома, никеля, молибдена, ванадия, меди) при оптимальном содержании в чугуне (C = Si) позволит получить микроструктуру чугуна, обеспечивающую при граничном трении защиту поверхности от интенсивного разрушения, вызываемого схватыванием, усталостью и абразивным воздействием. Наибольший эффект дает комплексное модифицирование силикобарием, силикокальцием и редкоземельными металлами. В этом случае достигается высокая однородность перлитной металлической основы: П, Пд0,3, Пд0,5. Графитовые включения приобретают пластинчатую форму со сравнительно небольшой длиной и равномерным неориентированным их расположением в матрице чугуна. Такая структура обладает хорошей геометрической приспособляемостью, удовлетворяет правилу положительного градиента сдвигового сопротивления и имеет минимальные значения износа.

#### Литература

1. Белов О.А. Оценка безопасности эксплуатации судовых энергетических установок // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 42. – С. 6–10.
2. Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – Ч. 1. – С. 5–9.
3. Кондратьев Н.Н. Отказы и дефекты судовых дизелей. – М.: Транспорт, 1985. – 152 с.
4. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.: Машиностроение, 1966. – 450 с.
5. Асташкевич Б.М., Ларин Т.В. Детали цилиндропоршневой группы // Трение, изнашивание и смазка. Т. 2. – М.: Машиностроение, 1979. – 385 с.

УДК 339.5

**М.В. Шестернина**

*Уфимский государственный авиационный технический университет,  
Уфа, 450000  
e-mail: marianna12vs@mail.ru*

## **РОССИЙСКОЕ СПГ-СУДОСТРОЕНИЕ И ЭКСПОРТ ГАЗА В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ**

В статье обоснована необходимость отечественного производства судов-газовозов смешанного типа «река – море» в связи с ростом мирового рынка сжиженного природного газа и геополитическими событиями 2022 года.

**Ключевые слова:** экспорт, сжиженный природный газ (СПГ), суда-газовозы.

**M.V. Shesternina**

*Ufa State Aviation Technical University,  
Ufa, 450000  
e-mail: marianna12vs@mail.ru*

## **RUSSIAN LNG-SHIPBUILDING AND GAS EXPORT UNDER SANCTIONS PRESSURE**

The need for domestic production of mixed-type "river-sea" gas carriers due to the growth of the global liquefied natural gas market and the geopolitical events of 2022 is proved.

**Key words:** export, liquefied natural gas (LNG), gas carriers.

Природный газ – единственное ископаемое топливо, потребление которого по оценкам экспертов будет увеличиваться до 2040 года. По оценкам экспертов, если доля трубопроводного газа в мировом потреблении энергоресурсов в ближайшие 20 лет практически не изменится, то рост мирового рынка сжиженного природного газа будет проходить опережающими темпами [1]. В 2020 г. наша страна занимала 7–8% мирового рынка СПГ; цель – увеличить эту долю до 20% вызвала жесточайшее сопротивление со стороны Запада. Отчаянный поступок англосаксов 26 сентября 2022 г., когда произошел подрыв в Балтийском море сразу двух газопроводов – «Северный поток – 1» и «Северный поток – 2», преследовал цель оторвать европейские государства, и прежде всего Германию, от российского газа и обеспечить поставки на континент американского СПГ. Пиратская ликвидация конкурента и выход на европейский рынок со своим продуктом в вековом характере Великобритании и США.

Несмотря на то, что, по оценкам экспертов [2], ущерб от экспорта в Европу около 20% добываемого Газпромом газа окажется не критичным, российский бюджет может потерять от 700 до 800 млрд руб. Кроме того, в ЕС есть дружественные для нас страны (Сербия, Венгрия), чье состояние является важным для нашей страны. Если обратиться к карте, то Белград и Будапешт расположены рядом с главной водной артерией ЕС – рекой Дунай. А значит, поставки российского СПГ туда возможны. Другое дело – существует ли у нас достаточный парк судов, способный решить эту задачу?

Транспорт сжиженных углеводородных газов морским транспортом на специальных судах-танкерах (газовозах) и судах-контейнеровозах, грузенных контейнерами-цистернами или речным транспортом на танкерах типа «река – море», судах-контейнеровозах и баржах, грузенных резервуарами, баллонами и контейнерами-цистернами, имеет ряд преимуществ. В частности, наблюдается отсутствие технической привязки поставщика к получателю; уменьшается зависимость от географических препятствий на маршруте доставки; растет экономическая эффективность при перевозках на большие расстояния; снижается уязвимость от геополитических факторов и региональной нестабильности; возможна масштабируемость поставок.

Экспортные перевозки СПГ РФ судами смешанного плавания «река – море» требуют наличия отечественных разработок, которые до последнего времени были уникальными и касались лишь внутренней транспортировки СПГ. Совсем недавно в области водных перевозок данного вида ресурса мы существенно отставали от других стран-лидеров: подавляющее большинство оборудования для создания судов-газовозов СПГ и береговой инфраструктуры по сжижению и регазификации не имело отечественных аналогов. Появившиеся недавно отечественные суда-газовозы нетипичны для мирового флота, так как будут использоваться для арктических месторождений. Всего в нашей стране 55 газовозов, обслуживающих российские проекты или принадлежащие компаниям с российским участием. Из них 33 судна имеют ледовый класс Arc7; 21 судно относится к конвенциональному классу; одна плавучая регазификационная установка может работать в режиме газовоза.

В результате быстроменяющейся геополитической ситуации у нашей страны появляется возможность занять собственную нишу в СПГ-судостроении. И связана она должна быть не только с производством уникальных СПГ-танкеров для арктической зоны, но и с созданием газовозов среднего класса (до 170 тыс м<sup>3</sup>) и крупных танкеров (до 260 тыс м<sup>3</sup>) класса Q-Max, Q-Flex, Yamalmax с унификацией конструкций судна и ростом серийности отдельных элементов.

Появление российских промышленных цифровых платформ, которые обеспечивают связь с компаниями-смежниками и позволяют уйти от узких отраслевых решений [3], также способствует поставленной задаче. Подобная цифровая платформа уже запущена в ПАО «Газпром нефть», обеспечивая компанию оперативными данными по диспетчеризации производства, сбором и анализом данных о материальном и энергобалансе подразделений. В 2021 году на создание цифровой экосистемы российских предприятий государством было выделено 399 млн руб. До 2024 года на разработку «Модульной мультисервисной промышленной платформы», в том числе на создание сервисов, их внедрение на отечественные предприятия государство планируется вложить еще 2,67 млрд руб. Это повысит эффективность кооперационных связей машиностроительных компаний в ходе строительства 100 российских газовозов в уже реализуемом проекте «Российский газовоз» АО «Атомэнергомаш» с российской комплектацией и позволит задействовать мультипликативный эффект судостроения 6 : 1.

Таким образом, наша страна вынуждена запустить российское СПГ-судостроение в короткие сроки, обеспечивая сбыт СПГ независимо от газопроводного транспорта, связанного с повышенными геополитическими рисками. А завоевать новые рынки без собственного флота СПГ-танкеров просто невозможно. Выделенный в 2022 г. 1 млрд руб. на запуск уже в этом году четырех проектов по созданию СПГ-оборудования в рамках федерального проекта «Прорыв на рынки СПГ» позволит нарастить производство сжиженного газа с 30 млн до 100 млн тонн. Быстрыми темпами создается и инфраструктура подотрасли: новые малотоннажные заводы в Татарстане, Московской, Самарской и Томской областях обеспечат короткий период запуска производства (от запуска до получения СПГ проходит всего 20 минут) и оперативность адаптации технологии к изменению внешних условий. Этот опыт может быть масштабирован и на территории других, дружественных нам стран.

### Литература

1. Долгосрочная программа развития производства сжиженного природного газа в РФ от 16.03.21 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://gazo.ru/upload/iblock/9e1/9e1656feb0cb2991705c1f490c8b8b28.pdf>
2. Что будет, если Россия перестанет поставлять газ в Европу [Электронный ресурс]. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/europe-gas-export/>
3. Шестернина М.В. Развитие промышленного интернета вещей в современной России // Менеджмент и маркетинг в различных сферах деятельности: Сб. науч. тр. / Под общ. ред. И.Я. Рувенного. – Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: РИК УГАТУ, 2019. – 273 с. – С. 252–256

УДК 620.19:629.5.023

**Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов**

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

## **К ВОПРОСУ КОНТРОЛЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ СУДОВ И МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ ОТ ЭЛЕКТРОКОРРОЗИИ**

Рыбная отрасль – это базовая составляющая экономики Камчатского края. Ее основой являются рыбодобывающие суда. Убытки, связанные с коррозией судов из-за исключительной металлоемкости, составляют сотни миллионов рублей в год. Основная проблема, с которой столкнулись авторы, – это несоблюдение диагностики экипажами судов систем коррозионной защиты от электрокоррозии из-за проблем со средствами контроля и трудоемкости методики ее оценки. Остро стоит вопрос пагубного влияния электрокоррозии на коррозионную защиту судов и морских сооружений, источниками которой являются блуждающие токи естественного и промышленного происхождения. Для решения озвученных проблем в статье приводятся разработанный авторами электрод сравнения и способ контроля защищенности от электрокоррозии. Статья содержит результаты натурных экспериментов, выполненных на судне РС-300 «Мирный», которое находилось у железобетонного пирса в г. Петропавловске-Камчатском. Результаты натурных измерений показали, что основную опасность представляют электрические поля, создаваемые в акваториях при сварочных работах. Результаты исследований могут быть использованы экипажами судов и лицами, обслуживающими морские сооружения для организации менее трудоемкого и более эффективного способа контроля защищенности от электрокоррозии и оценки ее эффективности.

**Ключевые слова:** электрокоррозия, плотность тока, интенсивность электрокоррозии, блуждающие токи, электросварка, лакокрасочное покрытие.

**D.P. Yastrebov, O.A. Belov, V.A. Shvetsov**

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

## **ON ISSUE OF MONITORING SHIPS AND MARINE STRUCTURES PROTECTION FROM ELECTROCORROSION**

The fishing industry is the basis of the economy of the Kamchatka Territory. Its base is fishing vessels. Losses associated with corrosion of ships, due to the exceptional metal consumption, amount hundreds of millions of rubles per year. The main problem faced by the authors is the non-compliance with the diagnostics by the crews of the corrosion protection systems against electrocorrosion due to problems with the monitoring tools and the complexity of the methodology for its assessment. There is an acute issue of the detrimental effect of electrocorrosion on the corrosion protection of ships and offshore structures, the sources of which are stray currents of natural and industrial origin. To solve these problems, a reference electrode developed by the authors and a method for monitoring protection against electrocorrosion are presented in the paper. The results of field experiments carried out on board the RS 300 "Mirny" ship, which was located at the reinforced concrete pier in Petropavlovsk-Kamchatsky are described. The results of field measurements showed that the main danger was represented by electric fields created in water areas during welding operations. The results of the research can be used by ship crews and persons maintaining offshore structures to organize a less laborious and more efficient way to control the protection against electrocorrosion and evaluate its effectiveness.

**Key words:** electrocorrosion, current density, intensity of electrocorrosion, stray currents, electric welding, paintwork.

Проблема защиты металлов от коррозии является важной и актуальной проблемой для всех отраслей страны, в том числе и для рыбопромыслового флота [1]. Рыбная отрасль – это базовая часть экономики Камчатского края. Ее основой являются рыбодобывающие суда. Убытки, связанные

с коррозией судов, из-за исключительной металлоемкости составляют сотни миллионов рублей в год [1, 2]. Основные средства защиты от электрокоррозии на рыбопромысловых судах – это применение электрохимической защиты [2]. В процессе эксплуатации такой защиты нельзя оценить ее, т. к. нет доступных средств контроля, а методики, описанные в ГОСТ и РД, достаточно трудоемки [3, 4]. Основная проблема, с которой столкнулись авторы, – это несоблюдение диагностики экипажами судов систем коррозионной защиты от электрокоррозии из-за проблем со средствами контроля и трудоемкости методики [2, 5–9].

Остро стоит вопрос пагубного влияния электрокоррозии на коррозионную защиту судов и морских сооружений. Электрокоррозия – это местная коррозия (язвами, пятнами, канавками), вызванная токами утечки или блуждающими токами и развивающаяся в местах повреждения лакокрасочного покрытия. Электрокоррозия корпусов судов может иметь место и при поляризации корпуса переменным током. Механизм коррозионного разрушения металла под действием переменного тока состоит в том, что в анодный полупериод ионы металла переходят в электролит, вновь разряжаясь на металле в катодный полупериод. Однако не все ионы металла, перешедшие в электролит, восстанавливаются в течение катодного полупериода. Катионы, обладающие более положительными потенциалами, например водород, могут выделяться на поверхности раньше, чем начнут восстанавливаться ионы металла. Скорость электрокоррозии при плотности тока на анодных участках корпуса  $5 \text{ A/m}^2$  может достигать в периоды стоянки судна у причала  $6 \text{ мм/год}$ , что почти в 50 раз больше скорости естественной коррозии стали в морской воде [1, 2]. Интенсивность электрокоррозии корпусов кораблей при поляризации переменным током значительно меньше, чем при поляризации постоянным током. Интенсивность коррозии корпусов кораблей в поле блуждающих токов определяется величиной токов, взаимным расположением источника тока и корпуса судна, удельным сопротивлением среды, состоянием изоляционного покрытия корпусов.

Блуждающие токи бывают естественного и промышленного происхождения. Источниками блуждающих токов естественного происхождения могут быть грозовые разряды, волнение моря, вариации магнитного поля Земли, термоэлектрические явления и др. Плотность блуждающих токов естественного происхождения может достигать величин  $5\text{--}10 \text{ A/m}^2$ , что не представляет коррозионной опасности для морских сооружений [1].

Источниками блуждающих токов промышленного происхождения являются установки для электросварки, подающие питание на объект по неправильным схемам, линии рельсового электротранспорта, в которых в качестве одного из проводов используется земля, заземление постоянного тока, системы катодной защиты и т. д.

Цель статьи – обмен опытом в области контроля защищенности судов и морских сооружений от электрокоррозии среди экипажей судов и лиц, обслуживающих морские сооружения.

*Экспериментальная часть.* Оценить скорость электрокоррозии судов [1, 5–9] можно с помощью следующих показателей: потенциала контрольной пластины, электрически соединенной с корпусом и погруженной в воду вблизи корпуса; силы тока, проходящего между корпусом и соединенной с ним стальной пластиной; градиента потенциала вблизи корпуса судна; разности потенциалов между корпусом судна и береговым заземляющим контуром или корпусом другого судна. Схема измерения электрокоррозии при помощи электрода сравнения и контрольной пластины показана на рис. 1.

Контроль плотности тока электрокоррозии по величине потенциала корпуса основан на взаимосвязи этих величин [1–4]. Зная по поляризационным кривым эту зависимость, можно сравнительно просто (с помощью электрода сравнения, рис. 1, б) определить потенциал и с достаточной для практики точностью судить о плотности тока, стекающего с корпуса судна. Трудность нахождения плотности тока этим способом связана с тем, что для каждого конкретного случая поляризационная кривая имеет различный наклон в зависимости от состояния лакокрасочного покрытия на корпусе [1, 2]. Кроме того, анодная поляризационная кривая для корпуса с разрушенным лакокрасочным покрытием проходит слишком плохо относительно оси плотности тока, поэтому определить плотность тока по величине потенциала в этом случае можно только весьма приблизительно. Величина потенциала может быть принята в качестве критерия защищенности только в частном случае защиты от электрокоррозии судна, оборудованного системой электрохимической защиты. В этом случае потенциал корпуса должен находиться в защитном диапазоне, принятом для данного материала корпуса судна. О силе тока,



проходящего через подводную часть корпуса, можно судить по потенциалу контрольной пластины (рис. 1, а). Но существенным недостатком этого способа является низкая чувствительность [1]. Измерение силы тока, проходящего между корпусом судна и пластиной (рис. 1, б), – простой и наглядный способ, однако он также дает значительную погрешность при определении скорости электрокоррозии.

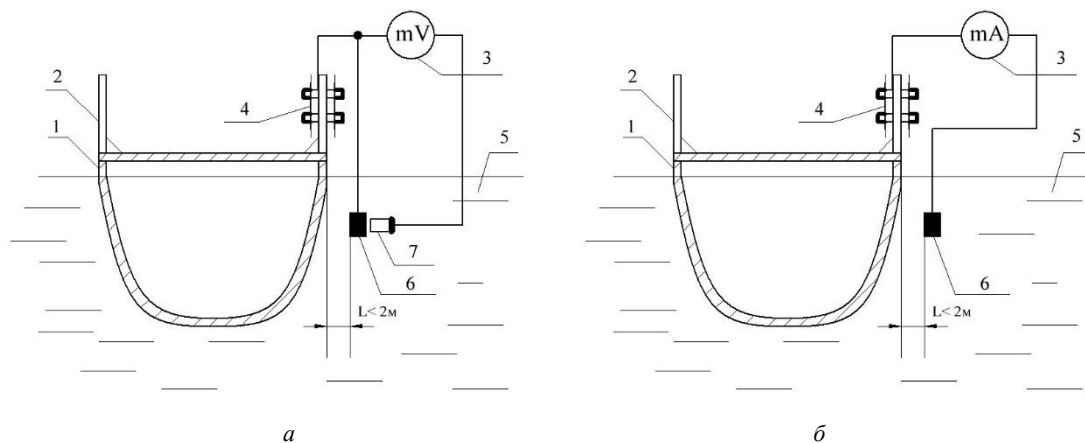


Рис. 1. Схема измерения потенциала (а) и силы тока (б) между корпусом судна и контрольной пластиной: 1 – корпус судна; 2 – фальшиборт; 3: а – милливольтметр, б – миллиамперметр; 4 – прижимной контакт; 5 – морская вода; 6 – контрольная пластинка; 7 – электрод сравнения

Поэтому авторами был разработан свой электрод сравнения и способ контроля защищенности от электрокоррозии на судах, кораблях и морских сооружениях. Предложенное техническое обеспечение позволяет:

- а) снизить трудоемкость контроля;
- б) облегчить хранение и увеличить продолжительность эксплуатации инструментов контроля;
- в) увеличить достоверность и точность контроля;
- г) уменьшить стоимость комплектующих для контроля электрокоррозии;
- д) самим экипажам судов и лицам, обслуживающим коррозионные системы, изготавливать устройства для контроля электрокоррозии [10].

Эксперимент проводился в один день на судне РС-300 «Мирный», которое находилось у железобетонного пирса в г. Петропавловске-Камчатском. Измерения осуществлялись, когда на судне проходили электросварочные работы и без электросварочных работ. Схема расположения исследуемого судна и контрольных точек измерений представлена на рис. 2.

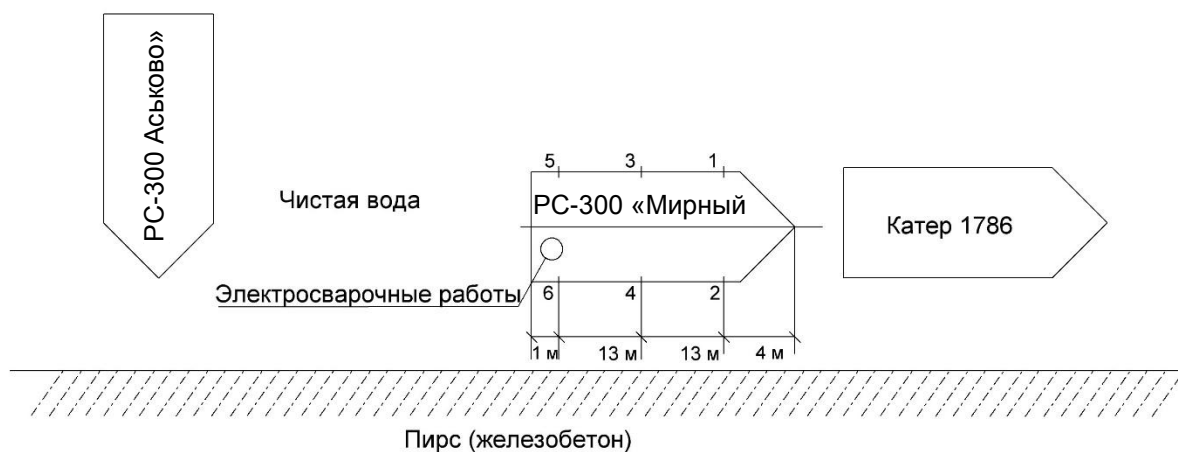


Рис. 2. Схема расположения исследуемого судна и контрольных точек измерений на нем

Из рис. 2 видно, в каком месте осуществлялись электросварочные работы, при этом источник тока находился на судне. Продолжительность электросварочных работ составила около трех часов. Измерения проводились по шести точкам последовательно, по 50 контрольных промера на одной контрольной точке разработанным электродом сравнения, который выполнен из токопроводящего углесодержащего материала [10] по методике, приведенной в работах [5–9, 11] в течение дня 20.08.2022 г. с паузой в 40 минут между сериями контрольных измерений (таблица).

#### Результаты контрольных измерений защищенности судна РС-300 «Мирный» от электрокоррозии

№ контрольной точки	Результаты измерений среднего переменного потенциала $U_{\text{сред.}\approx}$ , мВ; среднего переменного тока $I_{\approx}$ , мА и среднего постоянного потенциала $U_{\text{сред.}=\}$ , мВ					
	При электросварочных работах			Без электросварочных работ		
	$I_{\approx}$	$U_{\approx}$	$U_{=}$	$I_{\approx}$	$U_{\approx}$	$U_{=}$
1	5,0	6,5	780,0	0,5	0	784,0
2	7,0	7,0	758,0	2,0	0	763,0
3	13,0	5,0	791,0	0	0	795,0
4	29,0	8,0	786,0	2,5	0	792,0
5	35,0	15,0	801,0	1,0	0	805,0
6	39,0	17,0	798,0	3,5	0	803,0

Стоит отметить (согласно таблице), что результаты измерений, полученные при отсутствии электросварочных работ, оказались малы и существенно не влияют на электрохимическую защиту от электрокоррозии исследуемого судна. Полученные показания являются показаниями блуждающих токов в контрольных точках судна № 2, 4, 6, которые являются токами наводки с железобетонного пирса, которые, в свою очередь, вызваны факторами естественного происхождения, озвученными в данной научной работе.

Основные параметры электрического поля блуждающих токов – это его потенциал, напряженность и плотность тока. Величиной, непосредственно характеризующей интенсивность электрокоррозии металла, является переменный ток. Результаты натурных измерений показывают, что основную опасность представляют электрические поля, создаваемые в акваториях при сварочных работах. Как видно из результатов таблицы, если электросварочные работы не ведутся, то переменный ток в среднем в точках составляет 1,36 мА, а в период сварки достигает 18,29 мА. Например, в точках 4–6 эти показатели критические, более 25 мА, что соответствует при средней сохранности лакокрасочного покрытия скорости коррозии 10–20 мм/год. Поэтому экипажу судна рекомендуется при электросварочных работах похожего типа, как представленные в эксперименте, применять дополнительные меры защиты от электрокоррозии для уменьшения коррозионного износа корпуса судна РС-300 «Мирный» и исключения преждевременного выхода судна из строя.

Резюмируя, отметим, что:

- 1) контроль защищенности от электрокоррозии нужно выполнять регулярно по причине недопущения понижения параметров, т. к. это может вызвать дополнительные убытки от электрокоррозии;
- 2) разработанные средства контроля и предложенная методика вызывает у экипажей судов меньше проблем с организацией контроля защиты судна от электрокоррозии, чем методы и средства, предлагаемые действующими ГОСТами и руководствами;
- 3) объективно оценить эффективность работы защиты от электрокоррозии судов и морских сооружений можно при помощи представленного метода и устройства, поэтому рекомендуется экипажам судов и лицам, обслуживающим морские сооружения, организовать такой вид контроля.

#### Литература

1. Люблинский Е.Я., Пирогов В.Д. Коррозия и защита судов: Справочник. – Л.: Судостроение, 1987. – 376 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. РД 31.28.10-97 Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (дата обращения: 2.10.2022).

4. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (дата обращения: 2.10.2022).
5. 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.
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. Шунькин // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский, 2017. – Вып. 39. – С. 6–11.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Патент № 153280 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02. Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / В.А. Швецов, П.А. Белозёров, Д.В. Шунькин, А.А. Диденко, А.А. Луценко, Д.В. Коростылёв, О.А. Белавина. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «КамчатГТУ». – № 2014142289/28; заяв. 20.10.2014; опубл. 10.07.2015.
11. Патент № 2643709 Российская Федерация, G01N17/02. Способ контроля защищенности стальных корпусов кораблей и судов от электрохимической коррозии и электрокоррозии / О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина. Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «КамчатГТУ». – № 2017115308; заяв. 28.04.2017; опубл. 05.02.2018.

УДК 620.19:629.5.023

**Д.П. Ястребов, В.А. Швецов**

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

## **К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ СРАВНЕНИЯ В МОРСКИХ УСЛОВИЯХ**

Наиболее рациональный путь для успешной защиты морских судов от коррозии – измерение потенциала защищаемой конструкции. Потенциал конструкции определяют с помощью электродов сравнения. В статье представлен опыт по применению разных электродов сравнения разными авторами, в том числе зарубежными. Статья содержит результаты серии экспериментов в натуральных условиях с применением стандартных электродов сравнения и электродов сравнения собственного изготовления. При этом контролировали разность потенциалов между электродами сравнения, находящимися в морской среде, и коррозионной защитой судна в милливольты. Полученные результаты показали, что цинковые электроды обеспечивают высокую точность результатов контрольных измерений потенциала корпуса судна. Этот же результат получили другие авторы, что свидетельствует о незавершенности научных исследований в области электродов сравнения и требует дальнейших исследований по этому вопросу. Но уже сейчас можно сказать о возможности применения нестандартных электродов сравнения собственного изготовления экипажами судов и кораблей в морских условиях.

**Ключевые слова:** измерение потенциала, эффективность работы защиты от коррозии, защитный потенциал, разница потенциалов.

**D.P. Yastrebov, V.A. Shvetsov**

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

## **TO THE QUESTION OF NON-STANDARD REFERENCE ELECTRODES APPLICATION IN MARINE CONDITIONS**

The most rational way to protect marine vessels from corrosion successfully is to measure the potential of the protected structure. The potential of the structure is determined using reference electrodes. The experience of using different reference electrodes by different authors, including foreign ones, is presented in the paper. The results of a series of experiments in natural conditions using standard reference electrodes and self-made reference electrodes are demonstrated. At the same time, the potential difference between the reference electrodes located in the marine environment and the corrosion protection of the vessel was controlled in millivolts. The obtained results showed that zinc electrodes provide high accuracy of the results of control measurements of the ship's hull potential. The same result was obtained by other authors, which indicates the incompleteness of scientific research in the field of reference electrodes and requires further research of this issue. But even now it can be said about the possibility of using self-made non-standard comparison electrodes by the vesselcrews in marine conditions.

**Key words:** potential measurement, corrosion protection performance, protective potential, potential difference.

Наиболее рациональный путь для успешной защиты морских судов от коррозии – измерение потенциала защищаемой конструкции [1]. Потенциал конструкции определяют с помощью электродов сравнения [1]. Каждый электрод сравнения имеет свой собственный потенциал, который условно выражают по отношению к потенциалу определенного электрода сравнения. К.А. Чендлер [2] рассмотрел характеристику наиболее распространенных электродов сравнения:

- а) каломельного;
- б) хлорсеребряного;

- в) медно-сульфатного;
- г) цинкового.

По мнению К.А. Чендлера, каломельный электрод можно использовать только в лабораторных условиях для калибровки других электродов сравнения. Хлорсеребряному электроду сравнения К.А. Чендлер дает следующую характеристику: «Нормальный электрод для морской воды не нуждается в соляном мостике». Медно-сульфатный электрод сравнения (МСЭ) К.А. Чендлер характеризует следующим образом [2]: «Наиболее распространенный электрод, может использоваться в морской воде, если часто менять раствор соляного мостика». Цинковый электрод сравнения по мнению К.А. Чендлера [2]: «Не очень точен, но надежен при длительном применении».

Все вышеперечисленные электроды сравнения рассмотрены в международном стандарте ISO 15589-2 «Катодная защита морских трубопроводов» [3]. По мнению авторов стандарта [3]:

- а) хлорсеребряный электрод сравнения: «является наиболее широко используемым электродом...»;
- б) медно-сульфатный электрод сравнения: «недостаточно стабилен в морской воде, ... не рекомендуется для использования в морской воде»;
- в) «цинковые электроды менее точны, чем хлорсеребряные электроды сравнения...»;
- г) «каломельный электрод более подходит для лабораторных испытаний».

Мнение К.А. Чендлера и других авторов повлияли на разработчиков российских стандартов [2] по защите морских судов от коррозии. В этих стандартах рекомендовано использовать в качестве электродов сравнения только хлорсеребряный электрод сравнения. Однако хлорсеребряный электрод сравнения имеет существенные недостатки:

- а) высокую стоимость;
- б) сложность хранения на судах;
- в) поверку хлорсеребряных электродов сравнения осуществляют специализированные лаборатории.

Поэтому хлорсеребряные электроды сравнения не используют экипажи судов камчатского флота.

Авторы ведомственных строительных норм (ВСН 39-84) «Катодная защита от коррозии оборудования и металлических конструкций гидротехнических сооружений» допускают использование хлорсеребряного электрода сравнения собственного изготовления [4]. Они предлагают технологию изготовления пористого хлорсеребряного электрода сравнения. Однако применить эту технологию на судах невозможно вследствие ее сложности и высокой трудоемкости. По мнению этих авторов, «в качестве датчиков автоматизированных систем катодной защиты следует использовать стационарно установленные хлорсеребряные электроды сравнения» [4].

Это мнение разделяют многие авторы, в том числе: В.А. Швецов, О.А. Белов, Д.П. Ястребов, Д.В. Шунькин, Д.В. Коростылев, О.А. Белавина, С.В. Прокунин, А.А. Глаздов, А.В. Апрельев и другие авторы [4–7]. Например, Прокунин в работе [5] исследовал возможность применения электрода сравнения на основе висмута.

Целью данной статьи является обмен опытом в области применения нестандартных электродов сравнения среди экипажей судов и лиц, обслуживающих коррозионные системы в морских условиях.

Была проведена серия экспериментов в натуральных условиях с применением стандартных (рекомендуемых) электродов сравнения и электродов сравнения собственного изготовления. Серия экспериментов проводилась в течение трех дней с паузой в один день. Измерения осуществлялись на судне ПЖС-219 с удовлетворительной коррозионной защитой по методике, описанной в работах [8–12]. Порядок подключения электрода сравнения при испытаниях показан на рис. 1.

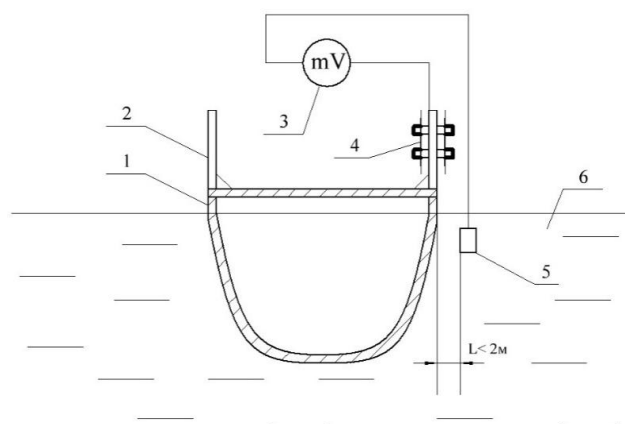


Рис. 1. Порядок подключения электродов при испытаниях, где: 1 – объект исследования; 2 – фальшиборт; 3 – вольтметр; 4 – соединительное устройство; 5 – электрод сравнения; 6 – морская среда

В качестве испытуемых электродов использовались:

- а) электрод № 1 – электрод сравнения собственного изготовления из оцинкованной стали;
- б) электрод № 2 – электрод сравнения собственного изготовления из оцинкованной стали;
- в) электрод № 3 – стандартный хлорсеребряный электрод сравнения [6, 7].

В серии экспериментов электроды № 1 и 2 выполняли роль исследуемых, а электрод № 3 – роль контрольного поверочного. При этом контролировали разность потенциалов между электродом сравнения, находящимся в морской среде, и коррозионной защитой судна в милливольттах (мВ). Результаты, которые представлены в таблице, заносили в специальный бланк.

Результаты разности потенциалов электродов сравнения и судна ПЖС-219

№ п/п	Результаты контроля потенциала корпуса судна, $U$ , мВ, полученные с помощью:								
	электрода № 1 (экспериментальный)			электрода № 2 (экспериментальный)			электрода № 3 (хлорсеребряный электрод)		
Дата	18.07.22	20.07.22	22.07.22	18.07.22	20.07.22	22.07.22	18.07.22	20.07.22	22.07.22
1	-33	-28	-31	-39	-32	-25	957	961	959
2	-33	-28	-31	-39	-32	-25	957	961	959
3	-33	-28	-31	-39	-32	-25	957	961	959
4	-33	-28	-31	-39	-32	-25	957	961	959
5	-32	-28	-31	-39	-32	-25	957	961	959
6	-33	-28	-31	-39	-32	-25	957	961	960
7	-33	-27	-31	-39	-31	-25	958	961	959
8	-33	-27	-31	-39	-31	-25	957	961	959
9	-32	-27	-31	-39	-31	-25	957	961	959
10	-32	-28	-31	-39	-31	-25	957	961	960
11	-32	-27	-31	-39	-31	-25	957	962	960
12	-32	-27	-31	-39	-31	-25	957	962	960
13	-33	-27	-30	-38	-31	-25	958	962	960
14	-32	-27	-30	-38	-31	-25	957	962	960
15	-32	-28	-30	-38	-31	-25	957	961	959
16	-32	-28	-30	-39	-31	-25	957	961	960
17	-32	-28	-31	-39	-31	-25	957	962	960
18	-32	-28	-31	-39	-31	-25	958	962	960
19	-32	-28	-30	-39	-32	-24	958	962	960
20	-33	-27	-30	-38	-32	-24	958	962	960
21	-32	-27	-30	-38	-31	-25	958	962	960
22	-32	-27	-30	-38	-31	-25	957	962	960
23	-32	-27	-30	-38	-31	-25	958	962	960
24	-32	-27	-30	-38	-31	-25	958	962	960
25	-32	-27	-30	-38	-31	-24	958	962	960
$U_{\text{ср}}, \text{мВ}$	-32,36	-27,48	-30,56	-38,64	-31,32	-24,88	957,36	961,52	959,64
$R$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$d$	0,46	0,50	0,49	0,46	0,44	0,21	0,46	0,50	0,46
$D$	0,23	0,25	0,25	0,23	0,22	0,11	0,23	0,25	0,23
$\sigma$	0,49	0,51	0,51	0,49	0,48	0,33	0,49	0,51	0,49
$Kd, \%$	1,42	1,82	1,61	1,19	1,39	0,85	0,05	0,05	0,05
$Kr, \%$	3,09	3,64	3,27	2,59	3,19	4,02	0,10	0,10	0,10
$V, \%$	1,51	1,86	1,66	1,27	1,52	1,33	0,05	0,05	0,05

Из представленных результатов таблицы можно сделать вывод о точности и повторяемости результатов измерений электродов сравнения № 1–3 согласно  $V\% < 10\%$ .

Динамика изменений результатов потенциала электродов сравнения проиллюстрирована на рис. 2–4.

Из рис. 2–4 видно, что результаты стабильны в течение всего периода эксперимента. Достоверность полученных результатов экспериментальных электродов сравнения № 1, 2 подтверждается результатами, полученными с контрольного электрода № 3, в роли которого выступил поверенный хлорсеребряный электрод сравнения. Данные анализировались с учетом разности потенциала самого материала, из которого изготавливались электроды сравнения.

Таким образом, Д.П. Ястребов и другие авторы [1, 7, 8] показали, что цинковые электроды обеспечивают высокую точность результатов контрольных измерений потенциала корпусов морских судов. Эти выводы подтверждаются результатами. Полученные итоги и указанные на-

учные труды [1, 7, 8] свидетельствуют о незавершенности научных исследований в области электродов сравнения и требуют дальнейших исследований по этому вопросу. Но уже сейчас можно сказать о возможности применения нестандартных электродов сравнения собственного изготовления экипажами судов и кораблей в морских условиях.

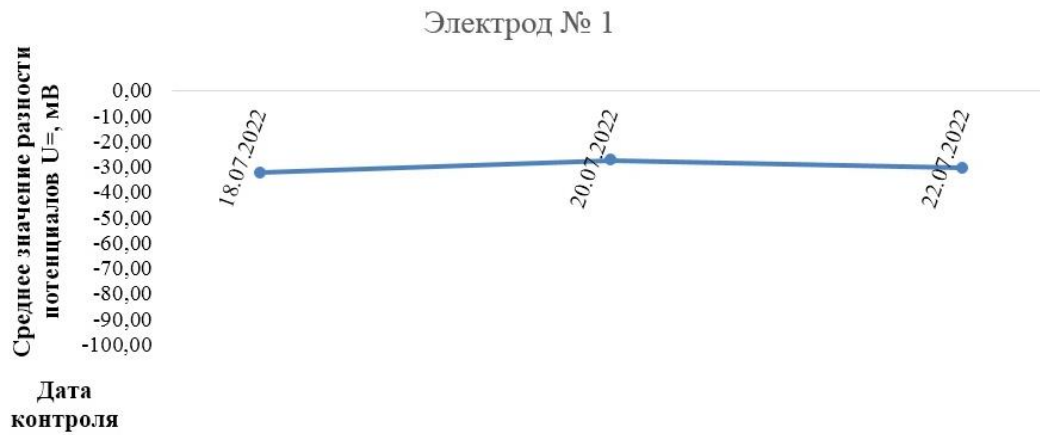


Рис. 2. Динамика измерений разности потенциалов в период 18.07.22–22.07.22, полученных с помощью электрода № 1

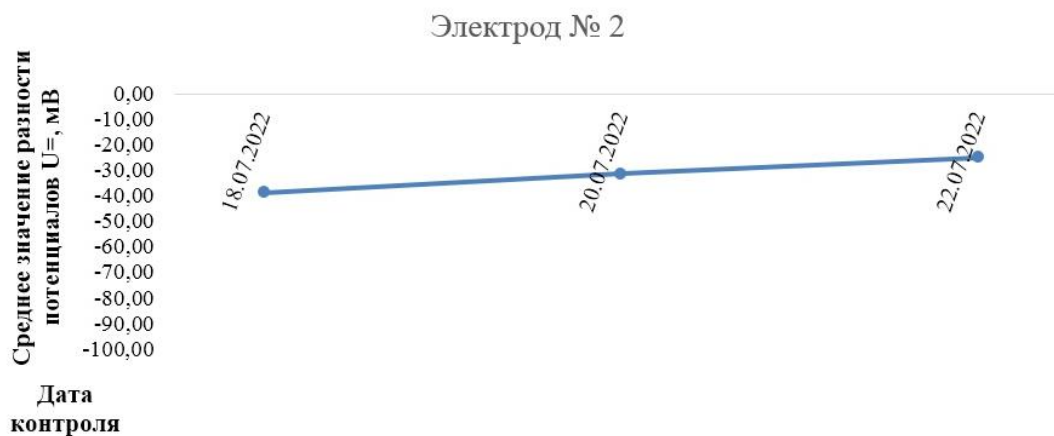


Рис. 3. Динамика измерений разности потенциалов в период 18.07.22–22.07.22, полученных с помощью электрода № 2

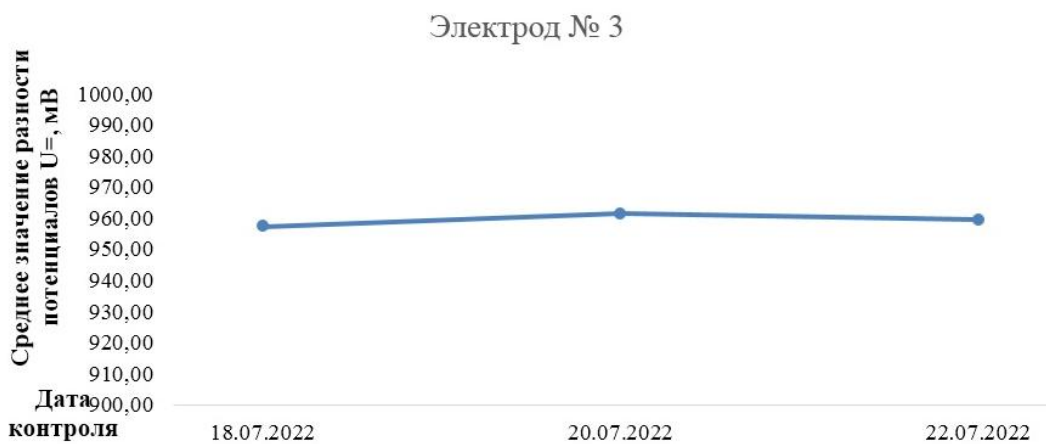


Рис. 4. Динамика измерений разности потенциалов в период 18.07.22–22.07.22, полученных с помощью электрода № 3

### Литература

1. 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.
2. Чендлер К.А. Коррозия судов и морских сооружений. Пер. с англ. – Л.: Судостроение, 1988. – 320 с.
3. ISO 15589-2-12 Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Cathodic protection of pipeline transportation systems. – URL: <https://www.iso.org/standard/51992.html> (дата обращения: 14.09.2022).
4. ВСН 39-84. Катодная защита от коррозии оборудования и металлических конструкций гидротехнических сооружений / Минэнерго СССР. – 1985. – 35 с.
5. Прокунин С.В. Методы измерения водородного показателя в сильнокислотной области // Альманах современной метрологии, 2021. – № 1 (25). – С. 89–95.
6. 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.
7. 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 междунар. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 121–124.
8. К вопросу использования цинковых электродов для контроля протекторной защиты судов и кораблей / Д.П. Ястребов, Д.В. Шунькин, А.О. Рогожников, Г.В. Кузнецов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2021. – Вып. 2. – С. 16–23.
9. 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 // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 125–129.
10. К вопросу использования электродов из судокорпусной стали для контроля защищенности от коррозии корпусов судов и кораблей / Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, Б.В. Тарабанов, С.А. Зайцев // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2020. – С. 15–21.
11. К вопросу использования алюминиевых электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей / Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, А.П. Ушакевич, Г.В. Кузнецов, Б.В. Тарабанов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2021. – Вып. 3. – С. 23–32.
12. Ястребов Д.П. К вопросу использования медных электродов для контроля защищенности от коррозии стальных корпусов судов и кораблей // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2021. – Вып. 4. – С. 43–51.



## СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 664.3.032:637.3

**Н.Р. Ахмедова, О.И. Левичева, В.А. Наумов**

*Калининградский государственный технический университет,  
Калининград, 236022  
e-mail: van-old@mail.ru*

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЗАТРАТЫ КУЛАЧКОВОГО НАСОСА НА ПЕРЕКАЧИВАНИЕ ПЛАВЛЕНОГО СЫРА

Рассчитаны показатели энергетической эффективности (ПЭЭ) кулачкового насоса (КН) при перекачивании плавленого сыра (ПС). Увеличение температуры приводит к снижению вязкости ПС. При этом затраченная мощность КН заметно уменьшается, ПЭЭ улучшаются. Если увеличивается перепад давления, то КПД растет, а показатель удельных энергетических затрат снижается.

**Ключевые слова:** кулачковый насос, плавленый сыр, вязкость, энергетическая эффективность.

**N.R. Akhmedova, O.I. Levicheva, V.A. Naumov**

*Kaliningrad State Technical University,  
Kaliningrad, 236022  
e-mail: van-old@mail.ru*

### ENERGY COSTS OF LOBE PUMP FOR PROCESSED CHEESE PUMPING

The energy efficiency indicators (EEI) of the lobe pump (LP) when pumping processed cheese (PS) are calculated. An increase in temperature leads to decrease in the viscosity of the LP. The consumed LP power is noticeably reduced, the EEI is improved. If the pressure drop increases, the efficiency increases, and the indicator of specific energy costs decreases.

**Key words:** lobe pump, processed cheese, viscosity, energy efficiency.

Гидравлический расчет течения жидких пищевых продуктов по трубопроводу, по которому они транспортируются от одного аппарата к другому, играет важную роль при разработке нового высокотехнологического оборудования [1, 2]. Исследованию влияния вязкости на работу насосов, перекачивающих такие жидкости, посвящено довольно много публикаций (см. [3, 4] и библиографию в них). Имеются отдельные работы по расчету показателей энергетической эффективности (ПЭЭ) пищевых насосов, например [5]. Однако практически отсутствуют исследования ПЭЭ кулачковых насосов (КН).

Конструкция КН позволяет не повреждать структуру высоковязкой субстанции, поэтому они все больше используются для перекачивания жидких пищевых продуктов, несмотря на высокую стоимость. Для подбора КН необходимы зависимости производительности и затраченной мощности от перепада давлений. Некоторые производители КН размещают в открытом доступе зависимости указанных характеристик от частоты вращения ротора (ЧВР) [6, 7].

В общем случае производительность КН зависит от частоты вращения ротора (ЧВР)  $n$ , вязкости перекачиваемой жидкости и перепада давления  $\Delta P$ . Чем больше вязкость, тем выше производительность; чем больше  $\Delta P$ , тем она ниже [6]. Однако если жидкость имеет большой коэффициент динамической вязкости (КДВ  $\mu > 0,5 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ), то подача КН не зависит от  $\mu$  и определяется так же, как для перекачивания воды при  $\Delta P = 0$  [6]:

$$Q = V_1 \cdot n, \quad (1)$$

где  $Q$  – подача КН,  $\text{дм}^3/\text{с}$ ;  $n$  – ЧВР,  $\text{с}^{-1}$ ;  $V_1$  – объем жидкости, перекачиваемой за один оборот вала,  $\text{дм}^3$ . Далее в качестве примера рассматриваем КН 034 WAUKESHA CHERRY-BURRELL (034-WCB), у которого  $V_1 = 0,227 \text{ дм}^3/\text{с}$ .

Гораздо сложнее вышеуказанные факторы влияют на  $N$  – затраченную мощность КН при перекачивании жидкости с высокой вязкостью. Анализ результатов испытаний [6] показал линейную зависимость затраченной мощности КН от перепада давления (рис. 1):

$$N = N_x + B \cdot p, \quad (2)$$

где  $N_x$  – затраченная мощность при  $\Delta P = 0$ , кВт;  $p = \Delta P / P_A$  – отношение перепада давления к атмосферному давлению  $P_A$ ;  $B$  – эмпирический коэффициент, кВт.

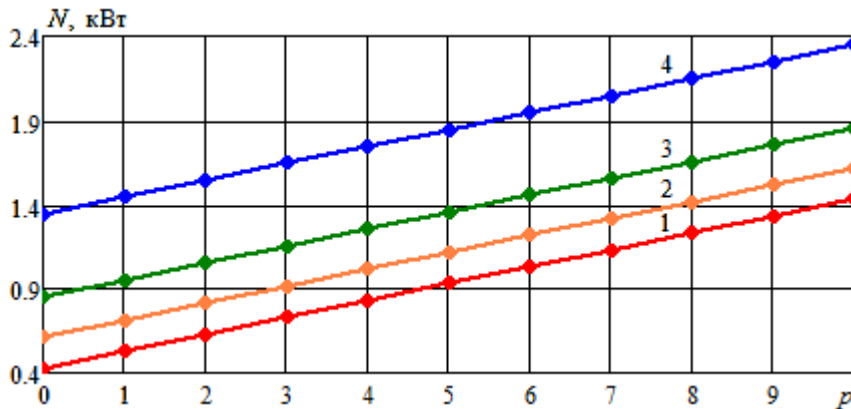


Рис. 1. Зависимость затраченной мощности КН 034-WCB от перепада давления при  $n = 4,5 \text{ с}^{-1}$  и различных значениях КДВ: 1 –  $\mu = 0,5 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 2 –  $\mu = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 3 –  $\mu = 2 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 4 –  $\mu = 5 \text{ Па}$ . Точки – экспериментальные данные [6], линии – результаты расчетов по (2)

Было установлено, что  $N_x$  и  $B$  зависят от  $n$  и  $\mu$ :

$$N_x = f_1(n, \mu), \quad B = f_2(n, \mu). \quad (3)$$

Подобранные функции  $f_1$  и  $f_2$  позволили получить хорошее согласие результатов расчетов экспериментальными данными, показанное на рис. 2.

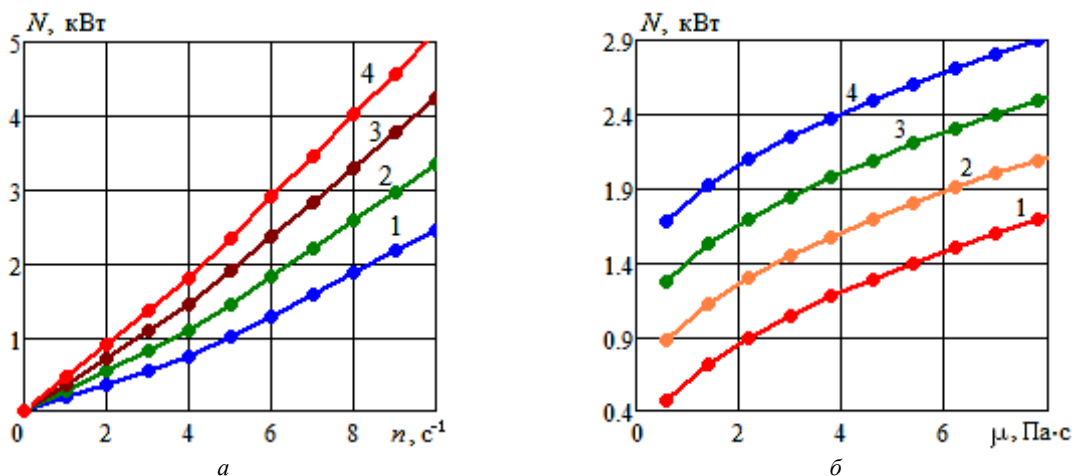


Рис. 2. Затраченная мощность КН 034-WCB при различных перепадах давления (1 –  $p = 0$ ; 2 –  $p = 4$ ; 3 –  $p = 8$ ; 4 –  $p = 12$ ); а – зависимость от ЧВР при  $\mu = 2 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; б – зависимость от КДВ при  $n = 4,5 \text{ с}^{-1}$ . Точки – экспериментальные данные [6], линии – результаты расчетов

Как видно из рис. 1 и 2, увеличение перепада давления, ЧВР и КДВ приводят к заметному увеличению затраченной мощности КН.

КДВ плавленного сыра (ПС) со специально подобранным составом при температуре более 90°C и высоком градиенте скорости (ГС)  $\omega$  может быть менее 0,2 Па · с [8]. Однако большинство сортов ПС имеют КДВ заметно выше [9, 10]. Здесь воспользуемся реологическими характеристиками ПС «Угличский» [10]. По экспериментальным данным при  $\omega = 27 \text{ с}^{-1}$  (что соответствует ЧВР примерно  $n = 4,3 \text{ с}^{-1}$ ) в зависимости от температуры значения КДВ: 60°C –  $\mu = 4,86 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 70°C –  $\mu = 3,20 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 80°C –  $\mu = 2,13 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ; 90°C –  $\mu = 1,65 \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

Для указанных условий были рассчитаны ПЭЭ: коэффициент полезного действия (КПД, %)  $\eta$  и показатель удельных энергетических затрат (УЭЗ, кДж/дм<sup>3</sup>)  $E$ :

$$\eta = 100 \cdot Q \cdot \Delta P / N, E = N / Q. \quad (4)$$

На рис. 3 представлены результаты расчета по формулам (4). Видно, что оба ПЭЭ с увеличением температуры (уменьшением вязкости) улучшаются: КПД растет, УЭЗ падает. Но влияние перепада давления на ПЭЭ различное. С увеличением  $p$  оба ПЭЭ растут: КПД показывает улучшение, а УЭЗ – ухудшение энергетической ситуации.

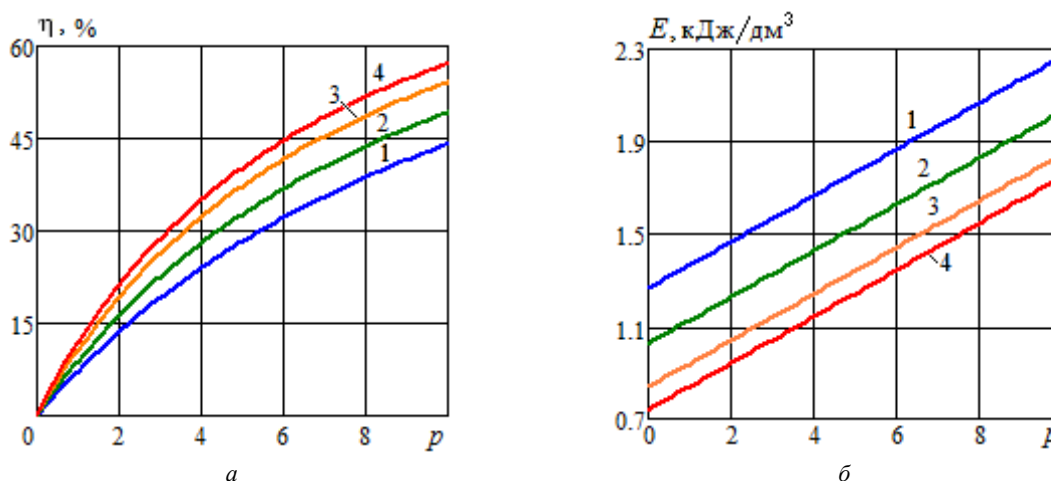


Рис. 3. Результаты расчета ПЭЭ КН 034-WSB при перекачивании ПС «Угличский» ( $n = 4,5 \text{ с}^{-1}$ ); а – КПД, б – УЭЗ: 1 – 60°C, 2 – 70°C, 3 – 80°C, 4 – 90°C

Перепад давления возрастает, например, при увеличении гидравлических потерь в технологическом трубопроводе. Это, несомненно, ухудшает энергетическую ситуацию. Поэтому в указанных условиях целесообразно оценивать энергетическую эффективность КН по УЭЗ, а не по КПД.

Исследование проведено в рамках выполнения государственного задания НИОКР «Разработка и совершенствование производственных систем пищевой отрасли».

### Литература

1. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов: Монография. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 382 с.
2. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов: Монография. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
3. Наумов В.А. Оценка влияния вязкости жидких пищевых продуктов на нагрузочные характеристики одновинтовых насосов // Техника и технология пищевых производств. – 2021. – Т. 51, № 2. – С. 290–300.
4. Ахмедова Н.Р., Левичева О.И., Наумов В.А. Гидравлический расчет технологического трубопровода для перекачивания молочных продуктов центробежным насосом // Вестник Красноярского ГАУ. – 2022. – № 5. – С. 216–225.
5. Наумов В.А., Левичева О.И. Оценка энергетической эффективности центробежных насосов для пищевой промышленности // Известия КГТУ. – 2021. – № 63. – С. 89–100.

6. Waukesha Cherry-Burrell. Rectangular flange positive displacement pumps [Electronic resource]. – URL: <https://www.spxflow.com/waukesha-cherry-burrell/products/universal-1-series-rectangular-flange-positive-displacement-pumps/> (accessed 09.09.2022).

7. Pomac Pumps Co. Lobe Pumps PLP Series [Electronic resource]. – URL: <https://www.pomacpumps.com/en/pharma/lobe-pump-plp/> (accessed 09.09.2022).

8. *Dimitreli G., Thomareis A.S.* Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity // *Journal of Food Engineering*. – 2004. – Vol. 64. – P. 265–271.

9. Реологические основы расчета оборудования производства жиросодержащих пищевых продуктов / *В.А. Арет, Б.Л. Николаев, Г.П. Забровский, Л.К. Николаев*. – СПб: Изд-во СПбГУ-НиТП, 2006. – 435 с.

10. *Николаев Л.К., Николаев, Б.Л.* О характере изменения эффективной вязкости плавленого сыра «Угличский» // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств*. – 2013. – № 4. – С. 18–21.

УДК 621.311

**О.А. Белов, Г.С. Мясников**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: boa-1@mail.ru*

**ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ  
И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГЕНЕРАЦИИ  
В КОЗЫРЕВСКОМ ИЗОЛИРОВАННОМ ЭНЕРГОУЗЛЕ КАМЧАТСКОГО КРАЯ**

Обеспечение надежного и эффективного электроснабжения в изолированных системах является актуальной задачей, обусловленной возможностью возникновения опасных кризисных явлений в случае нарушения устойчивости системы. С точки зрения удаленности от центральных электрических сетей и особенностей своего географического положения Козыревский изолированный энергоузел представляет особый интерес для изучения структуры генерации, особенностей электропотребления и формирования балансов электроэнергии и мощности. Представленная комплексная оценка динамики электропотребления в Козыревском изолированном энергоузле позволяет спрогнозировать перспективы его развития в рамках электроэнергетического комплекса Камчатского края. На основе анализа энергетической структуры Козыревского изолированного энергоузла и динамики электропотребления рассчитаны действующий и перспективный балансы электроэнергии и мощности, а также рассмотрены варианты развития системы электроснабжения в данном энергоузле.

**Ключевые слова:** электроэнергия, система электроснабжения, энергоузел, генерирующие мощности, энерготариф, электрический баланс, гидроэнергетика.

**O.A. Belov, G.S. Myasnikov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: boa-1@mail.ru*

**EVALUATION OF ELECTRIC CONSUMPTION DYNAMICS AND PROSPECTS  
FOR GENERATION DEVELOPMENT IN THE KOZYREVSKY INSULATED POWER  
CENTER OF THE KAMCHATKA TERRITORY**

Ensuring reliable and efficient power supply in isolated systems is an urgent task due to the possibility of dangerous crisis phenomena in the event of system stability violation. From the point of view of remoteness from the central electrical networks and the peculiarities of its geographical location, the Kozyrevsky isolated energy center is of particular interest for studying the generation structure, the characteristics of electricity consumption and the formation of electricity and power balances. The presented comprehensive assessment of the power consumption dynamics in the Kozyrevsky isolated energy center makes it possible to predict the prospects for its development within the framework of the electric power complex of the Kamchatka Territory. Based on the analysis of the Kozyrevka isolated power center energy structure and the dynamics of power consumption, the current and prospective balances of electricity and capacity are calculated, and options for the development of the power supply system in this power center are considered.

**Key words:** electric power, power supply system, power/energy center, generating capacities, energy tariff, electric balance, hydropower.

Повышение эффективности объектов генерации в зонах децентрализованного электроснабжения, несомненно, является актуальной задачей, требующей разработки и внедрения эффективных методов оптимизации систем электроснабжения в изолированных энергоузлах. В большинстве случаев необходима оценка возможности и перспектив использования нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии в децентрализованных системах. Кроме того, требуется дополнительная проработка вопросов повышения надежности и эффективности отдельных

элементов системы электроснабжения изолированных энергоузлов. В научных работах [1–3] подчеркивается, что для оптимизации системы электроснабжения конкретного изолированного энергоузла необходимо найти оптимальный баланс между генерацией и потреблением электрической энергии.

Вместе с тем неоднородность структуры генерации и потребления электрической энергии в зонах децентрализованного электроснабжения не позволяет использовать какой-либо универсальный подход в решении задач оптимизации. Требуется учитывать множество дополнительных факторов, связанных с конкретным изолированным энергоузлом.

В этой связи исследование структуры генерации Козыревского изолированного энергоузла в совокупности с анализом существующего электропотребления, а также разработка прогноза электропотребления на перспективу, имеет высокую научную и практическую значимость.

Козыревский изолированный энергоузел расположен в восточной части полуострова Камчатка на территории Усть-Камчатского муниципального района и обеспечивает электроснабжение потребителей п. Козыревска и с. Майского. Общая информация по Козыревскому энергоузлу приведена в табл. 1.

Таблица 1

Общие сведения о Козыревском изолированном энергоузле

Муниципальное образование	Поселение	Населенный пункт	Энергоисточник	Население, чел.	Расстояние до централизованных сетей, км
Усть-Камчатский муниципальный район	Козыревское сельское поселение	п. Козыревск с. Майское	ДЭС-16, локальные системы электро- и тепло- снабжения	958	494

Анализ функционирования системы электроснабжения Козыревского изолированного энергоузла проводился на основе математической обработки статистических данных с использованием методов нормативного прогнозирования. Рассматривалась общая структура системы генерации в энергоузле, и анализировалась динамика потребления электроэнергии и мощности за прошедший пятилетний период.

В зону влияния Козыревского энергоузла входят пос. Козыревск и с. Майское. Козыревск удален от ближайшего Средне-Камчатского энергоузла на расстояние 50 км. Электроснабжение энергоузла осуществляется от ДЭС-16 установленной мощностью 2,23 МВт, находящейся в Козыревске. Потребители села Майского питаются от ДЭС-16 (Козыревск) по ВЛ 35 кВ Козыревск – Майское.

Протяженность ВЛ 35 кВ, количество и суммарная мощность ПС 35 кВ Козыревского энергоузла приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика сетевого хозяйства Козыревского изолированного энергоузла

Наименование	Год ввода	Длина ВЛ 35 кВ, км	Мощность ПС 35 кВ, шт. × МВА
ВЛ 35 кВ ДЭС-16 (Козыревск) – Майское	1998	27,9	–
ДЭС-16 (Козыревск)	1986	–	1 × 1,6
ПС 35 кВ Майское	1978	–	1 × 1
Всего		27,9	2 × 2,6

Анализ технического состояния электросетевых объектов напряжением 35 кВ показал, что силовое оборудование 100% от общей трансформаторной мощности 35 кВ отработало более 30 лет. Все воздушные линии электропередачи 35 кВ выполнены на деревянных опорах. В связи с этим требуется реконструкция ПС 35 кВ с. Майского с заменой установленного трансформатора мощностью 1 МВА на новый, так как срок эксплуатации трансформатора превышает нормируемый [4, 5].

Данные за 2021 г. по установленной мощности и годовой выработке электроэнергии в Козыревском изолированном энергоузле представлены в табл. 3.

Установленные мощности (на 01.01.2022 г.) и годовые выработки (за 2021 г.) электростанций Козыревского изолированного энергоузла

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Установленная мощность, МВт	Доля, %	Годовая выработка, Млн кВт/ч	Доля, %
Суммарно по изолированным энергоузлам Камчатского края		106,79	100,0	220,647	100,0
п. Козыревск	ДЭС-16	2,23	2,1%	3,442	1,6%

Оценка эксплуатационной эффективности электроснабжения показала, что процент потребления электроэнергии на собственные нужды электростанции и технологические потери электроэнергии в сетях Козыревского изолированного энергоузла находятся в допустимых пределах [6, 7].

В рассматриваемом периоде преимущественно наблюдалась отрицательная динамика электропотребления Козыревского энергоузла. Так, в 2021 г. электропотребление энергоузла составило 3,45 млн кВт/ч, что на 0,11 млн кВтч (– 3,09 %) ниже уровня 2017 г.

В 2021 г. максимальное потребление мощности Козыревского энергоузла было зафиксировано на уровне 0,70 МВт, что на 0,13 МВт ниже максимального потребления мощности в 2017 г.

Суммарные показатели электропотребления и средние показатели максимального потребления мощности Козыревского энергоузла за пятилетний период представлены в табл. 4.

Таблица 4

Показатели электропотребления в Козыревском изолированном энергоузле

Наименование	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Электропотребление, млн кВт/ч	3,56	3,45	3,47	3,45	3,45
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВт/ч	– 0,16	– 0,11	0,02	0,02	0,00
Годовой прирост электропотребления, %	– 4,30	– 3,09	0,58	0,54	0,00
Максимальное потребление мощности, МВт	0,83	0,72	0,72	0,73	0,70
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	0,03	– 0,11	0,00	0,01	– 0,03
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	3,75	– 13,25	0,00	1,39	– 4,11

Динамика потребления электрической энергии и мощности в Козыревском энергоузле за пятилетний период наглядно представлена на рис. 1.

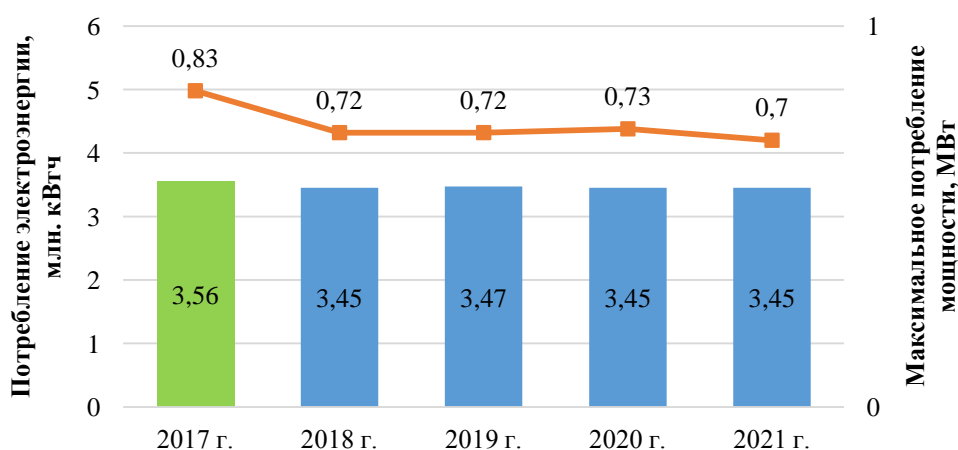


Рис. 1. Динамика потребления электрической энергии и мощности

Основной причиной низкой динамики электропотребления в Козыревском изолированном энергоузле является высокий экономически обоснованный тариф на электроснабжение и низкий уровень развития инфраструктуры. Электроснабжение в энергоузле осуществляется исключительно

за счет ДЭС, работающей на дорогостоящем привозном дизельном топливе. Высокая стоимость обслуживания электроэнергетических объектов обусловлена такими факторами, как сложные климатические условия (циклоны, ветровые нагрузки, гололедообразование), географическая удаленность энергоузла, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры [8, 9].

Анализ баланса мощности и электрической энергии показал, что генерирующие источники Козыревского изолированного энергоузла полностью обеспечивали потребность в мощности и электроэнергии в 2021 г.

Фактический баланс мощности и электрической энергии Козыревского изолированного энергоузла за 2021 г. представлен ниже в табл. 5.

Таблица 5

Данные по балансу электрической генерации за 2021 г.

Населенный пункт	Наименование ген. источника	Максимум потребления мощности, МВт	Установленная мощность, МВт	Дефицит (-) / Избыток (+), МВт	Годовая выработка (электропотребление), млн кВт/ч	ЧЧИ собственного максимума нагрузки
п. Козыревск	ДЭС-16	0,68	2,23	1,55	3,44	850

За анализируемый период баланс мощности Козыревского изолированного энергоузла складывался избыточно по установленной мощности. Величина фактического резерва установленной мощности источников генерации составила почти 70%.

На основании проведенного анализа динамики потребления электроэнергии и мощности за прошедший пятилетний период в Козыревском изолированном энергоузле разработан прогноз потребления электроэнергии и мощности.

Прогноз потребления электрической энергии и мощности в Козыревском изолированном энергоузле на пятилетний период сформирован с учетом прогноза полезного отпуска электроэнергии потребителям населенных пунктов в соответствии с информацией, предоставленной ПАО «Камчатскэнерго», а также с учетом изменения потребления электрической энергии и мощности в соответствии с утвержденными техническими условиями на технологическое присоединение. Данные прогноза представлены в табл. 6.

Таблица 6

Прогноз электропотребления и максимального потребления мощности в Козыревском энергоузле на перспективу 2022–2026 гг.

Наименование	2021 (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
Электропотребление, млн кВт/ч	3,45	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59
Абсолютный прирост электропотребления, млн кВт/ч	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Годовой прирост электропотребления, %	0,00	4,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Максимальное потребление мощности, МВт	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
Абсолютный прирост максимального потребления мощности, МВт	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Годовой прирост максимального потребления мощности, %	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

В рассматриваемой перспективе роста нагрузки в Козыревском изолированном энергоузле не ожидается. Прогнозируемая динамика потребления электрической энергии и мощности в Козыревском изолированном энергоузле на пятилетнюю перспективу представлена в виде диаграммы на рис. 2.

Таким образом, как видно из диаграммы, в рассматриваемом перспективном периоде рост потребления электрической энергии и мощности не прогнозируется.

На основе представленных прогнозов потребления электроэнергии и мощности, а также с учетом состава генерирующих источников в энергоузле, сформированы перспективные балансы мощности и электроэнергии на период 2022–2026 гг. Балансы мощности и электрической энергии по Козыревскому изолированному энергоузлу на пятилетний период представлены ниже в табл. 7 и 8.





Рис. 2. Прогнозируемая динамика годового электропотребления и максимального потребления мощности на перспективу 2022–2026 гг.

Таблица 7

**Прогнозируемый баланс мощности на период 2022–2026 гг.**

Наименование ген. источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 г. (отчет)	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2026 г.
ДЭС-16	$P_{\max}$	МВт	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
	$P_{\text{уст}}$	МВт	2,23	2,23	2,31	2,31	2,31	2,31
	Дефицит / избыток	МВт	1,50	1,50	1,58	1,58	1,58	1,58
		%	205	205	216	216	216	216

Таблица 8

**Прогнозируемый баланс электрической энергии на период 2022–2026 гг.**

Наименование ген. источника	Наименование показателя	Единица измерения	2021 г. (отчет)	2022	2023	2024	2025	2026
ДЭС-16	Выработка	Млн кВт/ч	3,44	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60
	ЧЧИ	час	1544	2230	2230	2230	2230	2230

Анализ прогнозируемого баланса мощности в Козыревском изолированном энергоузле показал, что баланс мощности складывается с избытком установленной мощности на всем рассматриваемом перспективном периоде.

Баланс электроэнергии анализируемого энергоузла складывается удовлетворительно. Число часов использования (ЧЧИ) установленной мощности электростанции ДЭС-16 находится в допустимых пределах.

Особенностью и основной проблемой функционирования Козыревского изолированного энергоузла является использование дорогостоящего привозного дизельного топлива и высокая стоимость обслуживания электроэнергетических объектов, вследствие чего энергетический узел имеет высокий экономически обоснованный тариф на электроснабжение [10, 11].

Одним из вариантов повышения эффективности электроснабжения отдельных изолированных энергоузлов согласно [12] является возможность использования солнечных электростанций (СЭС).

Расчеты по укрупненной оценке экономической эффективности применения СЭС в Козыревском изолированном энергоузле на основе данных о себестоимости производства электроэнергии на СЭС и ее сравнения с существующей топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии показали, что на территории рассматриваемого изолированного энергоузла строительство СЭС экономически нецелесообразно, так как себестоимость производства электроэнергии в этом случае выше топливной составляющей.

С целью повышения эффективности электроснабжения Козыревского изолированного энергоузла также целесообразно рассмотреть возможность использования ветряных электростанций

(ВЭС) на его территории. По данным наблюдений, среднегодовая скорость ветра в районе поселка Козыревск на высоте 30 метров составляет около 4,4 м/с [13].

В соответствии с опытом эксплуатации ВЭС в п. Усть-Камчатск Камчатского края оценка экономической эффективности строительства ВЭС для поселка Ключи показала низкую рентабельность данного проекта.

С учетом мирового опыта и опыта организации электроснабжения потребителей Камчатского края наиболее перспективным вариантом развития изолированных энергоузлов является строительство малых ГЭС. Оценка экономической эффективности строительства малых ГЭС для целей электроснабжения Козыревского изолированного энергоузла и расчет себестоимости производства электроэнергии на малых ГЭС показали, что в этом случае себестоимость производства электроэнергии составит менее 4 руб. за 1 кВт/ч.

Анализ опыта эксплуатации электроэнергии малых ГЭС, в том числе функционирующих на территории Камчатского края, показал, что себестоимость электроэнергии, производимой с использованием гидроресурсов, существенно ниже действующей топливной составляющей. Даже с учетом дополнительных затрат на эксплуатацию, связанных с климатическими и географическими особенностями данной территории, введение в генерацию малых ГЭС будет способствовать снижению экономически обоснованного тарифа на электроэнергию в изолированных энергоузлах Камчатского края, в том числе и в Козыревском энергоузле [14].

В этом направлении рассматривается как потенциальный проект малой ГЭС на р. Белой, приток р. Камчатки, мощностью более 20 МВт, в доступной близости от поселка Козыревск. Реализация данного проекта и введение в эксплуатацию малой ГЭС значительно повысят эффективность и надежность электроснабжения в Козыревском изолированном энергоузле.

Результаты, представленные в данной работе, согласуются с результатами исследований российских и зарубежных ученых [15, 16] и подтверждают необходимость поиска оптимального баланса между генерацией и потреблением электроэнергии, а также показывают необходимость более широкого использования местных возобновляемых источников электроэнергии. Снижение себестоимости производства электроэнергии в Козыревском энергоузле возможно за счет реализации проектов по освоению потенциала местной гидроэнергетики.

Таким образом, для повышения эффективности электроснабжения в Козыревском изолированном энергоузле необходимо разработать и реализовать мероприятия по замещению дизельной генерации. Кроме того, для повышения надежности электроснабжения необходимо развивать и совершенствовать электросетевое хозяйство энергоузла.

Результатом реализации мероприятий развития генерирующих мощностей станет увеличение доли выработки электроэнергии за счет возобновляемых источников энергии и, как следствие, снижение количества сжигаемого углеводородного топлива, что в свою очередь позволит снизить тариф на электрическую энергию в Козыревском энергоузле.

## Литература

1. *Bezrukikh P.P.* On Some Issues Assessing the Efficiency of Renewable Energy Power Plant and the Share of Renewables in the World's Electricity Generation // *Journal of Electrical Engineering*. – 2018. – № 6. – P. 85–89.
2. *Тягунов М.Г.* Особенности работы установок на основе возобновляемых источников энергии в изолированных энергосистемах // *Альтернативная энергетика в регионах России: Материалы молодеж. науч. конф. «АЭР-2018», 05–07 декабря 2018 г.* – Астрахань. – 2018. – С. 40–44.
3. *Tyagunov M.G.* Determining the optimal placements of renewable power generation systems using regional geographic information system // *Proceeding of the 2nd International Conference on the Applications of Information Technology to Renewable Energy Processes and Systems – IT-DREPS – 2017–2018*. – P. 1–6.
4. *Белов О.А.* Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. – 2021. – Т. 21. – № 4. – С. 48–56.
5. *Белов О.А.* Анализ структуры генерирующей мощности в изолированных энергоузлах Камчатского края // *Сборник трудов II Всерос. науч.-практ. конф. «Энергетика будущего – цифровая трансформация», 15–17 декабря 2021 г., Липецк.* – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2021. – С. 281–286.

6. Голубцов Н.В., Федоров О.В. Энергоэффективность экономики в аспекте инновационного инженерного образования: Материалы Девятой всерос. науч.-практ. конф. «Наука, образование, инновации: пути развития», 22–24 мая 2018 г., Петропавловск-Камчатский. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2018. – С. 135–139.
7. Грачева Е.И., Тоиходжаева М.И. Моделирование работоспособности электрооборудования систем электроснабжения и электрических сетей. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2021. – 220 с.
8. Кагин Г.Я. Состояние и перспективы развития электроэнергетики в России // Интеллектуальная Электротехника. – 2021. – № 2. – С. 4–14.
9. Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края / Д.С. Кротенко, В.А. Семчев, О.А. Белов и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 51. – С. 6–11.
10. Никитин А.Т., Белов О.А. Перспективы развития малой энергетики как экологичной технологии // Материалы науч.-практ. конф. «Образование, наука и молодежь – 2017»; 26 октября 2017 г., Керчь. – Керчь: Керченский государственный морской технологический университет, 2017. – С. 268–272.
11. Зайченко В.М., Соловьев Д.А., Чернявский А.А. Перспективные направления развития энергетики России в условиях перехода к новым энергетическим технологиям // Окружающая среда и энерговедение. – 2020. – № 1. – С. 33–47.
12. Безруких П.П. Нетрадиционно возобновляемые источники энергии. – М.: Топливо-энергетический комплекс, 2002. – 120 с.
13. Антонов Н.В., Евдокимов М.Ю., Шилин В.А. Возобновляемая энергетика за рубежом и в регионах России // Географическая среда и живые системы. – 2020. – № 1. – С. 85–99.
14. Семчев В.А. О перспективах и проблемах развития гидроэнергетики в Камчатском крае // Горный вестник Камчатки. – 2017. – № 2 (38). – С. 36–43.
15. Weinand J.M., Scheller F., McKenna R. Reviewing energy system modelling of decentralized energy autonomy // Energy. – 2020. – № 203. – P. 117817.
16. Monte Carlo Simulation approach for economic risk analysis of an emergency energy generation system / H. Zaroni, L.B. Maciel, D.B. Carvalho, E.D.O. Pamplona // Energy. – 2019. – № 172. – P. 498–508.

УДК 621.311:519.25(571.66)

**А.С. Богомолов, Н.С. Рябовол**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: alexx201476@gmail.com*

### **АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ РАБОТЫ РЕЗЕРВНОЙ ДИЗЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ (ДЭС-6) В УСТЬ-БОЛЬШЕРЕЦКОМ РАЙОНЕ**

В данном материале изложены общие сведения о дизельной электростанции (ДЭС-6), ее устройство и назначение, собраны статистические данные включений в периоды первой половины 2021–2022 годов, проведен анализ ее режимов работы в качестве резервной электростанции во время отключений сельских поселений от главной сети электропитания вследствие поломок и различных аварийных ситуациях на линиях электропередач. Данные были получены исходя из изученных операционных журналов.

**Ключевые слова:** электрогенерация, резервный источник, технический ресурс, фактическая наработка, коэффициент использования.

**A.S. Bogomolov, N.S. Ryabovol**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: alexx201476@gmail.com*

### **ANALYSIS OF BACKUP DIESEL POWER PLANT (DES-6) OPERATION INTENSITY IN THE UST-BOLSHERETSK DISTRICT**

The general information about the diesel power plant (DES-6), its structure and purpose were presented. Statistical data on switching on during the first half of 2021–2022 were collected. Its operating modes as a backup power plant during disconnections of rural settlements from the main network power supply due to breakdowns and various emergencies on power lines were analyzed. The data was obtained from the examined log books.

**Key words:** power generation, backup source, technical resource, actual operating time, utilization factor.

Дизельная электростанция (дизель-генераторная установка (ДГУ), дизель-генератор) – стационарная или подвижная энергетическая установка, оборудованная одним или несколькими электрическими генераторами с приводом от дизельного двигателя внутреннего сгорания и включающая в себя устройства для распределения электроэнергии, устройства автоматики, пульт управления.

Дизельная электростанция – 6 (ДЭС-6) была введена в эксплуатацию в 1976 году. Расположена она в административном центре Усть-Большерецкого района Камчатского края – селе Усть-Большерецк. Ее назначение состоит в снабжении электроэнергией населенных пунктов: с. Усть-Большерецк, п. Октябрьский, с. Кавалерское, п. Карымай и п. Апача. После возведения линий электропередачи (ЛЭП) и присоединения Усть-Большерецкого изолированного энергоузла к Центральному энергоузлу основное электроснабжение электроэнергией Усть-Большерецкого района осуществляется от ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 города Петропавловска-Камчатского [1, 2].

По этой причине сейчас дизельная электростанция числится как резервная и на постоянной основе не работает, однако в случае аварийного или планового отключения основной сети ДЭС-6 вводится в работу. В связи с этим требуется поддержание агрегатов электростанции в постоянной готовности к работе и проведение в полном объеме регламентных и восстановительных работ [3, 4].

Для обеспечения качественного планирования этих видов работ, а также для возможности прогнозирования надежности электроснабжения района на длительный период, требуется анализ интенсивности работы резервной электростанции. Исходя из цикличности функционирования

данного объекта и повторяемости условий эксплуатации на интервалах, целесообразно произвести сравнительный анализ нескольких однотипных периодов ДЭС-6. Внешний вид территории электростанции ДЭС-6 представлен на рис. 1.



*Рис. 1. Общий вид ДЭС-6*

В состав ДЭС-6 входит 4 дизель-генератора (2 дизель-генератора типа 14-26ДГ и 2 дизель-генератора типа Г72) суммарной мощностью около 4 мВт. Дизель-генератор типа Г72 обладает номинальной мощностью 600 кВт и номинальной частотой вращения, равной 375 об/мин, а дизель-генератор типа 14-26ДГ – 1200 кВт и 750 об/мин соответственно. Внешний вид дизель-генераторного агрегата Г72 представлен на рис. 2.



*Рис. 2. Дизель-генераторный агрегат типа Г72 (вид спереди)*

Также в состав ДЭС-6 входит трансформаторная подстанция мощностью 35/6 кВт, состоящая из масляных и элегазовых выключателей. Она имеет 2 режима работы: в качестве принимающей подстанции от главной сети электроснабжения, идущей с Петропавловска-Камчатского, и в качестве раздающей, выполняющей роль раздатчика электроэнергии по населенным пунктам Усть-Большерецк и Октябрьский. В первом режиме принимает 35 кВт, во втором режиме раздает 6 кВт. Общий вид трансформаторной подстанции представлен на рис. 3.



Рис. 3. Трансформаторная подстанция 35/6 кВт

Ниже представлен анализ режимов работы и сравнительная диаграмма ДЭС-6 за январь – июнь 2021–2022 годов. Вследствие непостоянства работы информация была взята из операционных журналов, которые в обязательном порядке ведутся сотрудниками ДЭС-6. Анализы режимов работы представлены на рис. 4 и 5.

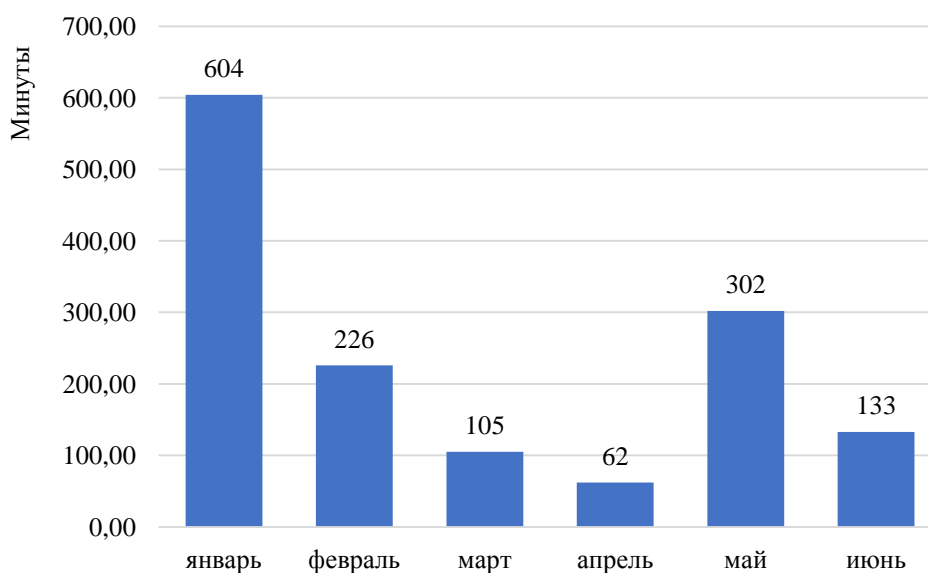


Рис. 4. Анализ режима работы за первую половину 2021 года

Как видно из диаграммы, наибольшее число включений за первую половину 2021 года зафиксировано за январь во время новогодних праздников и вследствие плохих погодных условий. Также заметно сравнительное большое число пусков в летний период, что связано с перегрузками из-за увеличения мощности рыбообрабатывающих заводов [5, 6].

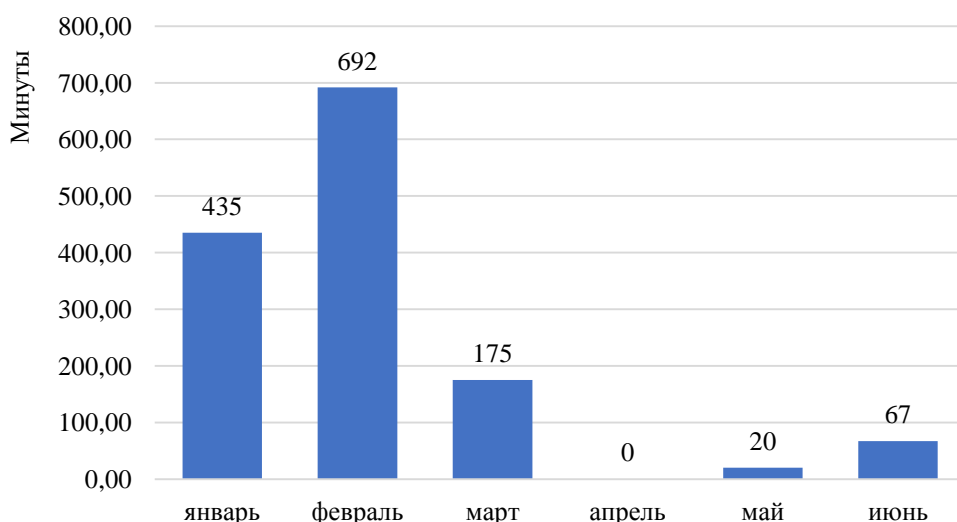


Рис. 5. Анализ режима работы за первую половину 2022 года

На диаграмме выше прослеживается большое число включений ДЭС в феврале и привычно высокое число включений во время новогодних праздников. В летний период число включений низкое. Апрель выделяется из общей картины полным отсутствием включений. По полученным данным предыдущих анализов была построена сравнительная диаграмма, указанная на рис. 6.

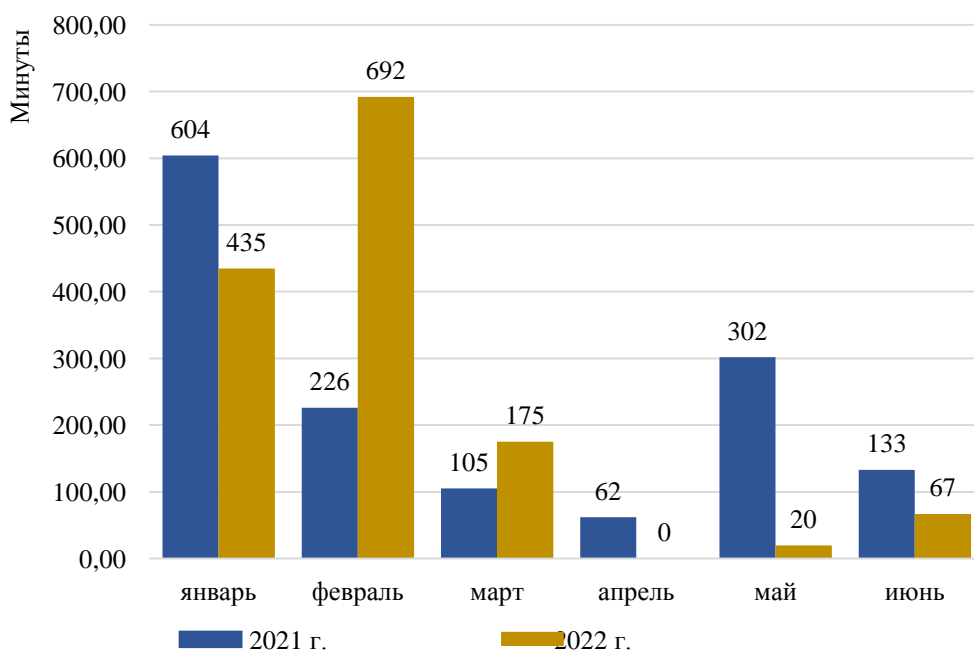


Рис. 6. Сравнительная диаграмма режимов работы за первую половину 2021–2022 годов

По сравнительной диаграмме режимов работы за первую половину 2021–2022 годов заметна разница в интенсивности использования ДЭС-6 в качестве резервного источника в зависимости от времени года. За 2021 г. заметно большее число включений в летний период. Наибольший пик интенсивности работы приходится на зимний период. Общее время работы составляет 2 821 минуту (47 часов и 1 минута), в 2021 году – 1 432 минуты (23 часа и 52 минуты), в 2022 году – 1 389 минут (23 часа и 9 минут). Исходя из сравнительной диаграммы, заметна тенденция на увеличение количества и общего времени включения дизельной электростанции в зимний период по сравнению с весенним периодом [7].

Это связано с различными авариями на линии электропередач, вызванными неблагоприятными погодными условиями, а также с относительной удаленностью района от центральных

сетей, что увеличивает время поиска места аварии и время на ее устранение. Еще одним фактором увеличенного количества включений в зимний период является рост мощности электропотребления [8, 9].

Таким образом, проведенный анализ работы ДЭС-6 позволяет установить цикличность интенсивности ее использования в качестве резервного источника электроснабжения, а также рассчитать расход ресурса и спрогнозировать надежность работы на перспективный период.

### Литература

1. Белов О.А. Анализ структуры генерирующей мощности в изолированных энергоузлах Камчатского края // Энергетика будущего – цифровая трансформация: Сборник трудов II Всерос. науч.-практ. конф. – Липецк, 2021. – С. 281–286.

2. Белов О.А. Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 4–56.

3. Белов О.А., Мясников Г.С. Внедрение комплексной защиты судовых асинхронных электроприводов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 73–76.

4. Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края / Д.С. Кротенко, В.А. Семчѳв, О.А. Белов, С.А. Жуков // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 51. – С. 6–11.

5. Кротенко Д.С., Тимощук В.Н., Белов О.А. Моделирование оптимальных режимов работы электростанции с различными генераторами // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 36–40.

6. Сивоконь В.П., Лапишов Д.В., Белов О.А. Диагностические признаки нестандартного проявления нелинейности в электрических сетях // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2019. – № 48. – С. 18–27.

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.

8. Пантина А.И., Белов О.А. Перспективы методики инфракрасной диагностики силовых трансформаторов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2017. – С. 102–104.

9. Ещенок Д.В., Никитин А.Т., Белов О.А. Практическое применение методов тепловизионного анализа и контроля // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 54. – С. 6–19.



УДК 621.865.8

**Р.А. Гараев, А.О. Рогожников**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: garaevrobert01@mail.ru*

## **ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ**

В век высокого спроса на различные механические устройства необходимо обеспечить их быструю и качественную сборку в нужных количествах. Для этого требуется прибегнуть к помощи роботоманипуляторов, которые будут собирать и создавать механизмы по строго запрограммированному сценарию, что значительно повысит скорость и качество по сравнению с ручной сборкой. Благодаря возможности дистанционного управления роботоманипулятор также сможет выполнять вредные для здоровья людей операции, такие как исследование подводных акваторий или работа в суровых условиях.

**Ключевые слова:** робот-манипулятор, промышленное оборудование, дистанционное управление, сборка.

**R.A. Garaev, A.O. Rogognikov**

*Kamchatka State Technical University  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: garaevrobert01@mail.ru*

## **PERSPECTIVE OF ROBOT MANIPULATOR USE IN VARIOUS INDUSTRIES**

In an age of high demand for various mechanical devices, it is necessary to ensure their quick and high-quality assembly in the right quantities. Robot manipulators will help to do this. They will assemble and create mechanisms according to a strictly programmed plan, that will significantly increase the speed and quality compared to manual assembly. Thanks to the remote-control capability, the robot manipulator will also be able to perform operations that are harmful to human health, such as exploring underwater areas or working in harsh environments.

**Key words:** robot manipulator, industrial equipment, remote control, assembly.

Робот-манипулятор является одним из наиболее востребованных вариантов промышленного оборудования. Данный механизм управляется дистанционно и является одним из главных элементов большинства технологических процессов, особенно тех, которые требуют большого навыка и точности, а также чрезвычайно опасны и вредны для здоровья человека. Наибольшую эффективность роботы-манипуляторы достигают в составе конвейеров – автоматизированных производственных систем. Их использование позволяет повысить качество и производительность выполняемых работ, при этом не требует большого количества ресурсов на поддержание и обслуживание. Помимо промышленного производства манипуляторы могут использоваться как модули для различных устройств, начиная от дронов и заканчивая различными протезами.

Роботы-манипуляторы относятся к профессиональному оборудованию [1]. В основном их конструкция имитирует движение предплечья и кисти человека. Главным преимуществом данных устройств является возможность выполнения работы, на которую физически не способен человек. Именно это является основной причиной роста их использования и популярности. Поскольку человек управляет роботами-манипуляторами дистанционно, количество производственных травм значительно сокращается, что, безусловно, увеличивает безопасность работ.

Главным различием между манипуляторами является дополнительное навесное оборудование, которое и определяет техническую сферу и задание данного устройства. Этим оборудованием может быть: сварочная головка, фреза, захваты разных типов, техническая пробирка,

лазерный резак и т. д. Один и тот же механизм с различным оборудованием может выполнять совершенно разную работу, что, в свою очередь, означает универсальность данных устройств.

Робот-манипулятор (рис. 1) состоит из следующих конструктивных элементов:

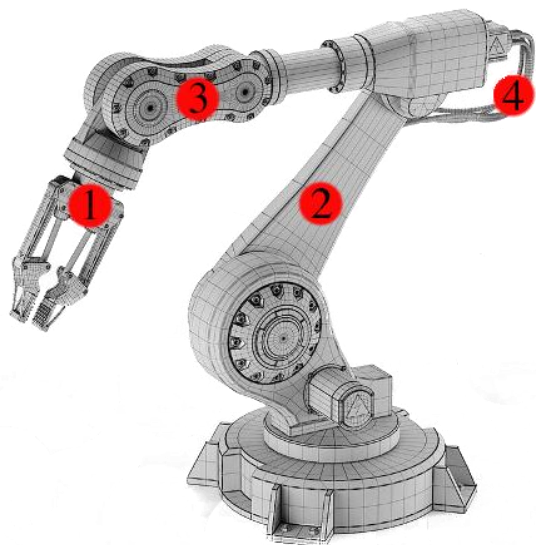


Рис. 1. Строение робота-манипулятора

- рабочий орган (1) – устройство, непосредственно выполняющее операции, воздействующее на объект манипулирования; это инструмент (лазерный резак, фреза) или механический захват;
- опорные конструкции (2) – элементы, обеспечивающие прочность конструкции; в зависимости от вида робота они представляют собой стойки, колонны, тросы и другое;
- манипуляционная система (3) – механизм, состоящий из большого количества звеньев, служит для пространственной ориентации органа и его переноса от одной точки к другой;
- привод (4) – элемент, который приводит всю конструкцию в движение и действует согласно заданным программным параметрам; привод, в свою очередь, состоит из энергоустановки, двигателей, передаточных механизмов [2];
- система программного управления – это «ядро» автоматизированного помощника, автоматизирующее процесс выполнения задачи.

На рынке современной техники существует множество манипулирующих устройств (рис. 2) от разных фирм с различными техническими характеристиками и ценовой категорией.



Рис. 2. Разновидности роботов-манипуляторов

У каждого есть свои достоинства и недостатки, характерно выделяющие его перед другими подобными устройствами. В таблице представлены одни из самых востребованных моделей роботов-манипуляторов.

#### Модели роботов-манипуляторов и их характеристики

№ п/п	Название	Характеристики	Особенности	Стоимость
1	Dobot Magician Educational	Размеры, мм: 340×300×400 Вес, кг: 3, 4 Программное обеспечение: DobotStudio, Repetier Host, Grbl Controller 3.6, DobotBlockly (Visual Programming editor) Материал: алюминий Грузоподъемность, кг: 1	Лазерная гравировка, модуль Wi-Fi Высокая повторяемость с точностью до 0,2 Может управляться с ПК и телефона Множество портов	264 000 Р

№ п/п	Название	Характеристики	Особенности	Стоимость
2	UFACTORY uArm Swift Pro	Размеры, мм: 150×140×281 Вес, кг: 2,2 кг Материал корпуса: алюминий Программное обеспечение: uArm Studio, uArm Play Материал: алюминий Грузоподъемность, кг: до 0,5	Возможность 3D-печати Может управляться с телефона или ПК Распознавание лиц Русскоязычное ПО	130 000 Р
3	KUKA KR10	Размеры, мм: 960×515×300 Вес, кг: 54 Материал: сталь Грузоподъемность, кг: 10 Рабочий диапазон, мм: 1101	Защита IP 65/67 Быстрая связь через Gigabit Ethernet Встроенные карты памяти для важных системных данных	1 400 000 Р
4	CRP RH18-20	Размеры, мм: 1570×1045×476 Вес, кг: 285 Материал: сталь Грузоподъемность, кг: 20 Максимальный охват: 1 720 мм	Защита: корпус IP54 Манипулятор: IP67 Широкая область применения Высокая скорость работы	1 800 000 Р

Все представленные в таблице роботы-манипуляторы, несомненно, можно использовать в производстве. Преимущества использования оборудования данного типа лежат на поверхности: значительно повышается точность исполняемых операций, возрастает их безопасность, снижается количество брака. Помимо этого, робот способен выдерживать большие нагрузки в течение длительного времени, а зачастую – работать круглосуточно. Человек так работать не может. Соответственно, рентабельность производства существенно возрастает. Именно поэтому роботы-манипуляторы достаточно быстро окупают вложения на их покупку и внедрение в эксплуатацию.

Однако данные механизмы спроектированы для создания конвейерных производств и обучения обращения с ними [3]. Большинство из устройств, поставляемых на наш рынок, производятся зарубежными компаниями и имеют иностранное программное обеспечение, что в условиях текущей мировой обстановки может быть критично и нереализуемо ввиду отсутствия ремонта и обслуживания данных роботов-манипуляторов, а также нарушения логических поставок, что особенно критично для удаленных регионов России. К тому же после ухода некоторых зарубежных компаний дистанционно может быть заблокирована и программа управления этими устройствами.

Уже сейчас в Камчатском государственном техническом университете на кафедре «Энергетические установки и электрооборудование судов» ведется разработка робота-манипулятора (рис. 3).

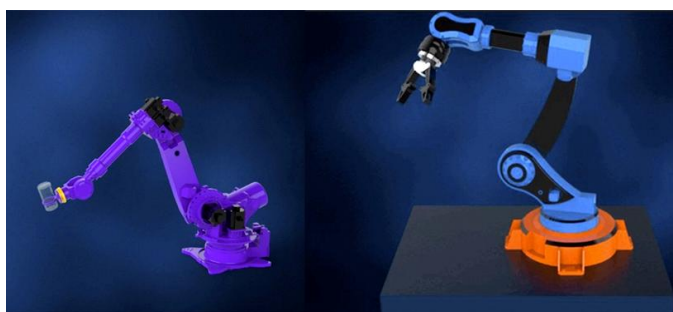


Рис. 3. Визуализация робота-манипулятора

Основной особенностью разрабатываемого устройства станет модульность и наличие различных режимов работы, что позволит использовать его как в стационарном месте для использования в производственном цеху, так и на подвижном устройстве, как, к примеру, дрон. Это значительно снизит затраты на осмотр морских акваторий, поскольку вместе группам водолазов будет достаточно одного подводного устройства, на которое будут установлены необходимые манипуляционные модули, которые смогут собирать образцы грунта и брать пробы воды. Помимо этого, данный проект поможет увеличить производительность труда на морских предприятиях посредством перемещения объектов с большим весом, будь то коробки с продукцией или с сырьем. Робот-манипулятор будет работать на собственном программном обеспечении, что позволит реализовать полный спектр возможностей и исключить внешнюю блокировку.

Весь комплекс работ направлен на разработку отечественного аналога, приспособленного к работе в режиме критических погодных условий и агрессивной внешней среды (в случае

установки на подвижные устройства). На данный момент ведется сбор необходимой информации, моделирование прототипа модели робота-манипулятора, а также анализ и поиск виртуальной среды для написания программного обеспечения, необходимого для полного управления данным устройством.

Определенно можно сказать, что за роботами-манипуляторами будущее. Их использование значительно повышает эффективность и скорость производства, позволяет сократить количество брака и производственных травм, поскольку все будет совершаться непосредственно устройствами по отработанному и заранее прописанному сценарию. К тому же роботы-манипуляторы могут работать в недоступных для людей местах и условиях. Но для полноценной интеграции в производство требуется большое количество работы и ресурсов, от установки самого оборудования и до наладки программного обеспечения, а для этого требуются специально обученные люди. Именно поэтому ведется самостоятельная разработка данных устройств и программ к ним.

### Литература

1. *Кулешов В.С., Лакота Н.А.* Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы. – М.: Машиностроение, 1986. – С. 52–56.
2. *Белов А.О.* Судовые электроприводы. Основы теории и динамики переходных процессов. – М.: Моркнига, 2016. – 120 с.
3. *Панфилов Ю.В., Рябов В.Т., Цветков Ю.Б.* Оборудование производства интегральных микросхем и промышленные роботы. – М.: Радио и связь, 1988. – 120 с.

УДК 621.313.04

**Д.С. Данилов, П.Г. Калин**

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

## **УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ УРОВНЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ**

На камчатском флоте развивается проблема устаревания автоматизации судов, что необходимо устранить в процессе капитального ремонта, однако материалы, методы, установки и устройства современного образца являются дорогостоящими, что влияет на процесс обновления методов защиты от обрыва фазы или же сигнализации об этом, что в свою очередь приводит к неизгладимым последствиям в виде вышедшего из строя оборудования. Такие обстоятельства могут внести огромный риск для жизни членам экипажа, лишние финансовые расходы для компании. В данном случае появляется возможность усовершенствования и удешевления в производстве уже существующих систем и устройств защиты и сигнализации для более активного применения на судах, а также упрощенной установки, такой способ обнаруживается благодаря современным микроконтроллерам, их низкой стоимости относительно существующих по тому же направлению устройств, отсутствия механических составляющих (все исключительно цифровое) и простому языку программирования. Это позволяет сделать систему контроля параметров питания приводов автоматизированной, а самое главное – адаптивной, что как раз и удешевит создание таких систем контроля.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, защита от обрыва фазы, финансово выгодное производство.

**D.S. Danilov, P.G. Kalin**

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

## **AUTOMATED CONTROL AND ALARM OF INSULATION RESISTANCE LEVEL DEVICE**

The problem of ship automation obsolescence is developing in Kamchatka fleet. It must be eliminated during the overhaul, however, materials, methods, installations and modern devices are expensive, which affects the process of updating protection methods against phase failure or signaling about it, which in turn leads to indelible consequences in the form of out-of-stand equipment. Such circumstances can introduce a huge risk to the lives of crew members, unnecessary financial costs for the company. In this case, it becomes possible to improve and reduce the cost in the production of existing protection and signaling systems and devices, for more active use on ships, as well as simplified installation, such method is possible thanks to modern microcontrollers, to their low cost in comparison with existing devices and the absence of mechanical components (all is exclusively digital) and to a simple programming language. It allows to make system for monitoring the parameters of the power supply of drives automated and above all adaptive that will reduce the cost of creating such control systems.

**Key words:** microcontroller, phase failure protection, financially profitable production.

В наше время остаются актуальными проблемы стоимости оборудования, ресурсов и способов сохранения работоспособности электродвигателей. Методы защиты по обрыву фазы работают успешно, только применяемые при этом реле контроля фазы стоят достаточно дорого. На многих рыбопромысловых судах в схеме защиты в основном используются тепловые реле, потенциометры и сигнализация о пониженном уровне сопротивления изоляции. Не во всех схемах питания потребителей присутствует УЗО и реле контроля фаз. Тепловое реле недостаточно надежно, так как может не сработать своевременно либо совсем не среагировать на поступивший сигнал перегрузки в связи с деформированной временем биметаллической пластиной. Оператор при этом физически не сможет за короткий период определить проблему и предпринять все необходимые меры по предотвращению нестандартной ситуации [1, 2].

В этой связи появляется необходимость автоматизированного контроля параметров электрического тока и защиты приводов, так как при обрыве фазы потребитель 380 V начинает забирать недостающий ток из оставшихся двух фаз, что неминуемо приведет к неравномерной нагрузке на обмотку привода, и в этом случае появляется возможность межвиткового пробоя, в лучшем случае двигатель просто не запустится [3, 4].

В эксперименте использовались: макетная плата Arduino, реле-контакты, аналогово-цифровой преобразователь (для усиления и очевидной наглядности амплитуды поступающего сигнала) и контролируемый элемент – трехфазный генератор. Разумеется, можно макетную плату заменить на полноценную печатную в случае реализации данного способа аналоговой замены на судне. На данный момент времени существуют такие системы контроля и управления генераторными агрегатами, как: ГЕАПАС, ASA-S, AGS, однако немногие могут позволить себе столь роскошное решение проблемы с обновлением защиты цепей, либо же владельцы просто не хотят тратить значительный объем своих финансов, поэтому риск окончательного выхода из строя генераторов остается по-прежнему актуальным помимо того, что возникает высокая вероятность выхода из строя систем, отвечающих за живучесть судна [5, 6].

Также существуют РКФ – реле контроля фаз, которое позволяет наблюдать напряжение в сети, констатировать обрыв фазы и нарушение чередования. Но некоторые из них не отличаются надежностью, а в целом никакие виды из них нельзя подстраивать под различные типы приводов или же генераторных агрегатов.

Для изучения возможности использования аналогов микроконтроллерного контроля и учета уровня сопротивления изоляции при помощи доступных ресурсов была построена схема, приведенная на рис. 1.

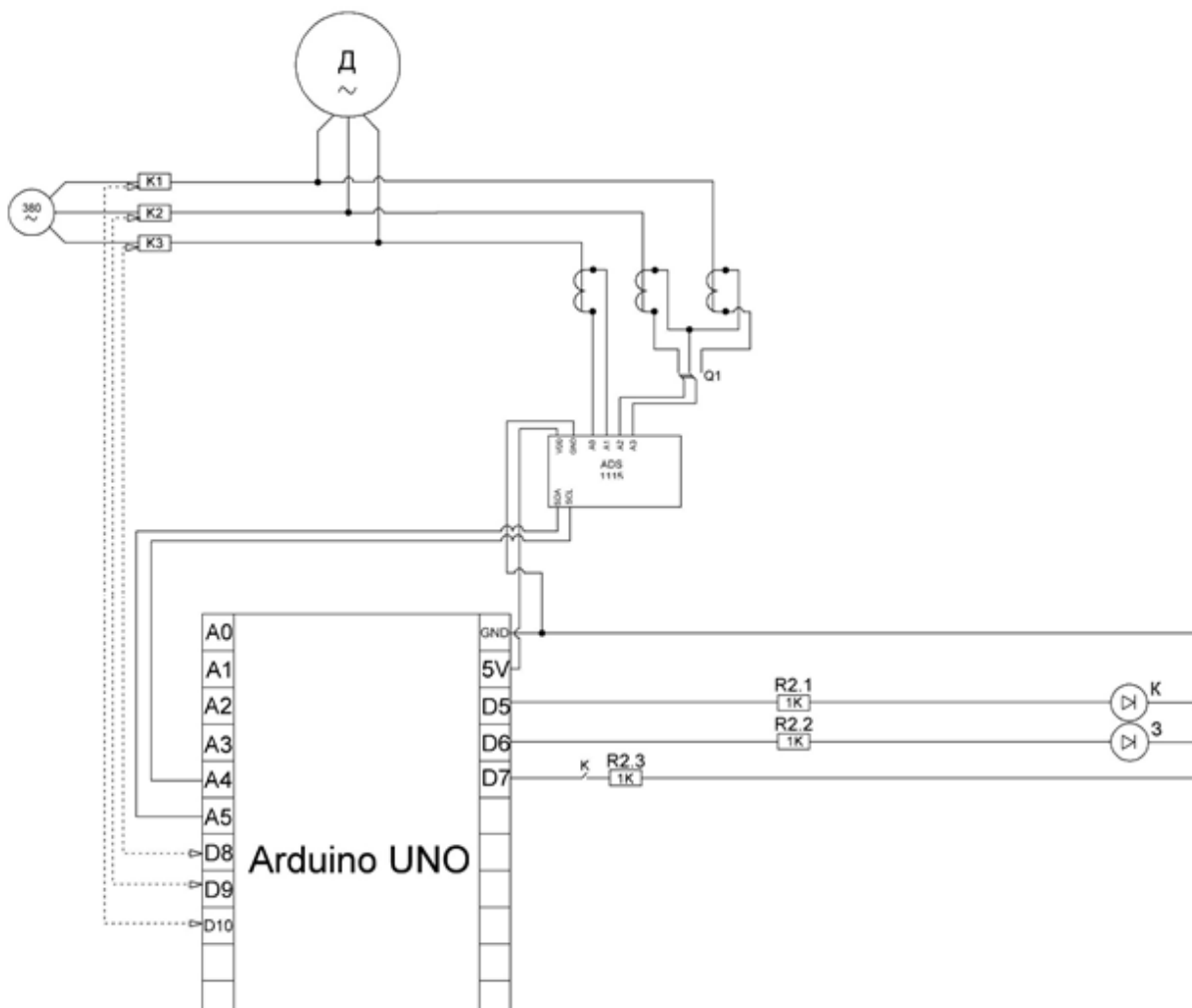


Рис. 1. Схема подключения асинхронного двигателя

Эта схема обеспечивает связь микроконтроллера, трансформаторных датчиков и цепи питания, параметры которой фиксируются и преобразуются в управляющий выходной сигнал [7].

В данном случае схема реализует функцию замера напряжения фаз генератора, подключенного через трансформаторные датчики тока, проходящие через АЦП к аналоговым пинам микроконтроллера А4 и А5, поскольку только такой тип пинов может измерять напряжение от 0 до 5 В. Светодиоды зеленого и красного цветов отвечают за сигнализацию о нормальной работе или сбое в ней соответственно, и подключены они к цифровым пинам платы D6, D5, так как цифровые пины могут выдавать сигнал 1 или 0, что соответственно равно либо 0 В либо 5 В, но плавного изменения между этими значениями нет, кнопка подачи сигнала на питание через контакторы-реле, подключенные к цифровым пинам D8, D9, D10, подключена к D7 и при нажатии подает логическую единицу в плату, запуская кусок программы, отвечающий за замыкание реле. При падении напряжения ниже установленного значения плата получает соответствующий сигнал от датчиков, и запускается кусок кода, отвечающий за прекращение подачи питания на двигатель, загорается красный светодиод, сигнализируя о ненормальной работе цепи. Q1 – тумблер-переключатель, необходимый для переключения между датчиками тока, вместо него возможно использовать реле-контактор для попеременной проверки значений датчиков через каждый установленный цикл [8, 9].

*Для прошивки платы использовался следующий скетч:*

```
//подключение библиотеки дифференциального измерения АЦП
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
Adafruit_ADS1115 ads;
//объявление переменных датчиков
int myFase1[10], n1, SUM1;
float srednee1;
int myFase2[10], n2, SUM2;
float srednee2;
byte sila_toka;
//часть с кнопкой, диодами и реле
boolean led_flag_RED = 5; //привязали светодиод к пятому цифровому пину
boolean led_flag_GREEN = 6; //привязали светодиод к шестому цифровому пину
#define button_pin 7 // привязали кнопку к седьмому цифровому пину
#define relay_pin1 8 // здесь реле-контактор первой фазы питания
#define relay_pin2 9 //здесь реле-контактор второй фазы питания
#define relay_pin3 10 //здесь реле-контактор третьей фазы питания
boolean butt_flag = 0; //запоминает последнее состояние кнопки
boolean butt; //принимает текущее положение кнопки
unsigned long last_press;
void setup() {
Serial.begin(9600);
Serial.println("Hello!");
Serial.println("Getting differential reading from AIN0 (P) and AIN1 (N)");
Serial.println("ADC Range: +/- 6.144V (1 bit = 3mV/ADS1015, 0.1875mV/ADS1115)");
ads.setGain(GAIN_FOUR);
if (!ads.begin()) {
Serial.println("Failed to initialize ADS.");
while (1);
}
pinMode(6, OUTPUT); //настраиваем пин ЗЕЛЁНОГО светодиода как выход
pinMode(5, OUTPUT); //настраиваем пин КРАСНОГО светодиода как выход
pinMode(button_pin, INPUT); //настраиваем пин кнопки как вход с подтяжкой по встроенному резистору
pinMode(relay_pin1, OUTPUT); //пин выход первого реле
pinMode(relay_pin2, OUTPUT); //пин выход второго реле
pinMode(relay_pin3, OUTPUT); //пин выход третьего реле
}
```

```

void loop() {
  butt = digitalRead(button_pin);
  if (butt == 1 && butt_flag == 0 && millis() - last_press > 100) {
    butt_flag = 1; //соответственно: если сигнал на 7 пине равен 1 и кнопка не была нажата = 0,
    то поднять флажок
    last_press = millis();
    digitalWrite(relay_pin1, 1); // подаём сигнал на замыкание первого реле
    digitalWrite(relay_pin2, 1); // подаём сигнал на замыкание второго реле
    digitalWrite(relay_pin3, 1); // подаём сигнал на замыкание третьего реле
    digitalWrite(led_flag_GREEN, 1); //
  }
  if (butt == 0 && butt_flag == 1) {
    butt_flag = 0; // запоминает положение кнопки
  }
  float multiplier = 0.03125F;
  myFase1[n1] = ads.readADC_Differential_0_1();
  n1++;
  if (n1 > 9) n1 = 0;
  SUM1 = 0;
  for (byte i1 = 0; i1 < 10; i1++) {
    SUM1 += myFase1[i1];
  }
  srednee1 = SUM1 / 10;
  myFase2[n2] = ads.readADC_Differential_2_3();
  n2++;
  if (n2 > 9) n2 = 0;
  SUM2 = 0;
  for (byte i2 = 0; i2 < 10; i2++) {
    SUM2 += myFase2[i2];
  }
  srednee2 = SUM2 / 10;
  Serial.println(srednee1 * multiplier); Serial.println(srednee2 * multiplier);
  if (srednee1 * multiplier > sila_toka && srednee2 * multiplier > sila_toka) {
    Serial.println("Its ok, dude");
    led_flag_GREEN = 1;
    led_flag_RED = 0;
  } else if (srednee1 < sila_toka && srednee2 < sila_toka) {
    Serial.println("Still good, guy");
    led_flag_GREEN = 0;
    led_flag_RED = 1;
  }
  myFunction();
  } else if (srednee1 == sila_toka && srednee2 == sila_toka) {
    Serial.println("Smth wrong, bro, check out the phases");
    led_flag_GREEN = 0;
    led_flag_RED = 1;
  }
  myFunction();
}
}

void myFunction() {
digitalWrite(relay_pin1, 0);
digitalWrite(relay_pin2, 0);
digitalWrite(relay_pin3, 0);
}
}

```

Проведя эксперимент по замеру параметров тока в цепи питания двигателя, мы получили следующий результат: искусственно создавая пробой в фазе генератора на землю (просто снимали



регистрирующий размер тока в цепи питания двигателя датчик, в связи с чем сигнал становился равным нулю), плата регистрировала входной сигнал аналогового пина как отклонение от заданного значения тока (оно не должно равняться нулю, что свидетельствует о наличии питания в фазе) и отключала генератор от питания с помощью подачи сигнала на размыкание реле-контакторов в цепи снабжения питанием. При этом загорался красный светодиод, сигнализируя о нарушении в нормальной работе электрической цепи генератора [10, 11].

Устраняя искусственный пробой, вновь запуская генератор, регистрировалась нормальная работа генератора, о чем по итогу свидетельствовало горение зеленого светодиода, и велся дальнейший учет параметров тока питания генератора.

Также следует отметить основное преимущество перед РКФ – способность данной системы работать с любыми электродвигателями и генераторами до 20 А, поскольку сами датчики тока рассчитаны на 20 А. Для этого останется просто изменить пороговые значения реакции платы на отклонение в поступающем сигнале с датчиков.

Таким образом, используя доступную элементную базу, простые схемные решения и универсальные программные продукты, представляется возможным решение актуальных задач повышения степени надежности и безопасности судового электрооборудования.

### Литература

1. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 11–16.
2. Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – Ч. 1. – С. 5–9.
3. Белов О.А., Мясников Г.С. Внедрение комплексной защиты судовых асинхронных электроприводов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 73–76.
4. Белов О.А. Оценка безопасности эксплуатации судовых энергетических установок // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 42. – С. 6–10.
5. Белов О.А., Швецов В.А. К вопросу о повышении экологической безопасности судов при долговременном стояночном режиме // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2018. – С. 119–121.
6. 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. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 80–83.
7. Сивоконь В.П., Лапишов Д.В., Белов О.А. Диагностические признаки нестандартного проявления нелинейности в электрических сетях // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2019. – № 48. – С. 18–27.
8. Кротенко Д.С., Тимощук В.Н., Белов О.А. Моделирование оптимальных режимов работы электростанции с различными генераторами // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2019. – Т. 15, № 3. – С. 36–40.
9. Кротенко Д.С., Белов О.А. Моделирование процессов оптимизации режимов судовой электроэнергетической системы при электропитании от береговой сети // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 77–80.
10. Белов О.А., Белова Е.П. Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.
11. Белов О.А., Толстова Л.А. Моделирование процесса обучения курсантов для формирования навыков технической эксплуатации // Вестник Государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 3 (16). – С. 78–81.

УДК 629.584

**А.Д. Змеев, А.О. Рогожников**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: artem.klas10@gmail.com*

### **НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ПОДБОРУ МОЩНОСТИ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ДРОНА МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ**

Выбор освещения для подводного дрона является непростой задачей, поскольку в водной среде обитает множество простейших организмов, которые затрудняют исследование подводного объекта. Для эффективной эксплуатации подводного дрона модульной конструкции необходимо качественное и разборчивое изображение с бортовой камеры дрона. Четкое изображение может быть получено путем правильного подбора световых прожекторов с подходящей для условий эксплуатации мощностью.

**Ключевые слова:** водная среда, подводное освещение, техническая функциональность, подводный дрон.

**A.D. Zmeev, A.O. Rogozhnikov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: artem.klas10@gmail.com*

### **IN-SITU TESTING ON LIGHTING POWER SELECTION FOR A MODULAR UNDERWATER DRONE**

The choice of light for an underwater drone is not an easy task, since many simple organisms live in the aquatic environment, which make it difficult to conduct research of an underwater object. For effective operation of a modular underwater drone, a high-quality and legible image from the drone's onboard camera is necessary. A clear image can be obtained by choosing the right light spotlights with a suitable power for the operating conditions.

**Key words:** water environment, underwater lighting, technical functionality, underwater drone.

Водная среда имеет богатый животный и растительный мир, поскольку именно в воде начала развиваться жизнь и происходили первые этапы эволюции. Здесь встречаются как простейшие одноклеточные микроорганизмы, так и крупные многоклеточные организмы. Всех обитателей водной среды называют гидробионтами [1]. Эти гидробионты взаимодействуют между собой и также оказывают влияние на водную биосферу. В процессе своей жизни обитатели водной среды производят многочисленные продукты жизнедеятельности, которые могут оказывать негативное влияние на химический и биологический состав воды [2]. Помимо этого, в воду плохо проникает солнечный свет за счет отражения солнечных лучей, вследствие чего вода выглядит темной и мутной. Эксплуатация подводного дрона в условиях мутной воды сильно затруднена, поскольку изображение, которое записывается на бортовую камеру, неразборчиво и невнятно. Для решения этой проблемы подводные дроны оснащаются световыми устройствами.

Все подводные дроны оборудованы мощными источниками света, однако избыточная мощность может плохо сказаться на качестве видеосъемки. Освещение с чрезмерной мощностью сильно подсвечивает микроорганизмы и их продукты распада в воде, из-за чего на изображении, которое записывает камера, видны сильные засветы и эффект туманности. Однако и с недостаточной мощностью освещения изображение будет неразборчиво и плохого качества.

В сентябре 2022 года командой разработчиков подводного дрона модульной конструкции проводились неоднократные испытания по подбору мощности освещения для подводного дрона. Испытания проводились в Юлькином озере в Елизовском районе в поселке Раздольном. Погода в дни проведения испытаний была ясной, температура воздуха 19°C. Общая площадь озера

составляет около 300 м<sup>2</sup>, максимальная глубина 6 м. Температура воды во время испытаний была 16°С. В качестве испытуемых источников света было выбрано три варианта освещения, разных по мощности и конструкции прожектора. Все приборы освещения хорошо загерметизированы и поочередно сменялись на корпусе подводного дрона. Монтаж и установка освещения на подводный дрон не представляет ничего сложного, поскольку все прожекторы имеют свои крепления. Кроме того, благодаря поворотным площадкам на креплениях можно регулировать угол поворота светодиодной балки по вертикали, тем самым направлять пучок света. На рис. 1 представлены фотографии подводного дрона с тремя вариантами световых прожекторов.

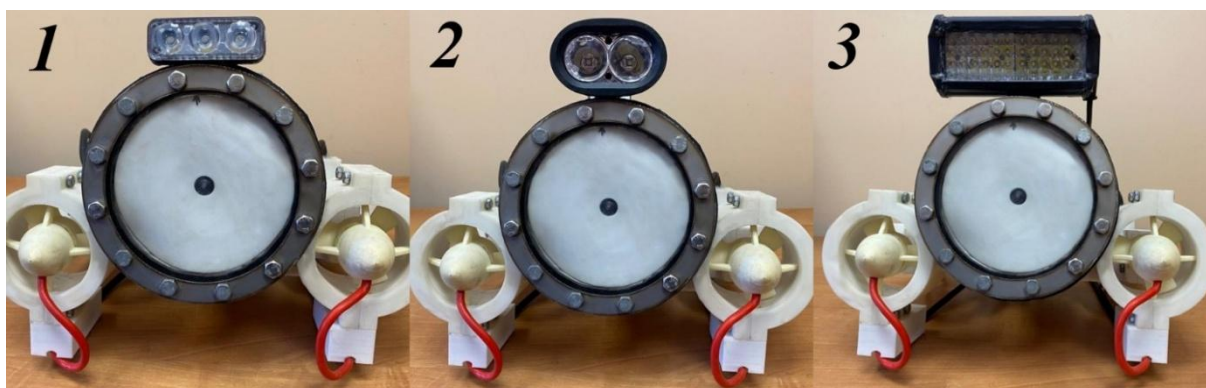


Рис. 1. Фотографии подводного дрона с 3 вариантами световых прожекторов: 1 – вариант № 1 освещения; 2 – вариант № 2 освещения; 3 – вариант № 3 освещения

Фотографии на рис. 1 расположены по возрастанию мощности прожекторов, то есть слева (1) находится фотография со слабой фарой, а справа (3) – самая мощная светодиодная балка. Все эти источники света для подводного дрона отличаются не только мощностью освещения, но и конструкцией в целом. Как правило, корпус прожекторов изготавливается из алюминия либо дюрала. Все световые фонари имеют защитное стекло и прокладки для герметичности между стеклом и корпусом. Подобные светодиодные балки по расположению светодиодов подразделяются на однорядные и двухрядные. Помимо правильного освещения для продуктивной эксплуатации подводного дрона, также важны массогабаритные характеристики, поскольку общий баланс подводного устройства нарушать нельзя. В таблице указаны основные характеристики трех вариантов световых прожекторов.

#### Характеристики трех вариантов световых прожекторов

Характеристики	Вариант № 1	Вариант № 2	Вариант № 3
Мощность, Вт	4,8	13,8	20,4
Кол-во светодиодов, шт.	3	2	48
Потребляемый ток, А	0,4	1,1	1,7
Габаритные размеры Д×Ш×В, мм	87×30×40	95×62×80	170×65×60
Вес балки, г	107	283	473

Испытания освещения подводного дрона модульной конструкции проводились в одинаковых условиях на расстоянии между объектом исследования и дроном 0,5 м и 1 м. В качестве объекта видеосъемки был выбран стальной лист с наглядными коррозионными процессами для эмуляции корпуса судна [3–5]. На этой стальной пластине нанесены символы «08.09» для определения качества видимости объекта. Данный предмет с размерами 200×130 мм и толщиной 5 мм, привязанный на веревке, погружался в воду на глубину порядка 2 м, где его записывал на бортовую камеру подводный дрон с установленным световым прожектором. На рис. 2 и 3 представлены фотографии объекта под водой с тремя вариантами освещения с расстояния 0,5 м и 1 м, сделанные камерой подводного дрона.



Рис. 2. Фотографии объекта под водой с 3 вариантами освещения (расстояние 0,5 м):  
1 – вариант № 1 освещения; 2 – вариант № 2 освещения; 3 – вариант № 3 освещения



Рис. 3. Фотографии объекта под водой с 3 вариантами освещения (расстояние 1 м):  
1 – вариант № 1 освещения; 2 – вариант № 2 освещения; 3 – вариант № 3 освещения

Из рис. 2 и 3 хорошо видно, что фотография с вариантом № 3 освещения, который отличается высокой мощностью по сравнению с другими световыми прожекторами, очень сильно подсвечивает воду и микроорганизмы, из-за чего объект видно нечетко. Символы, которые нанесены на стальной пластине, на фотографиях с вариантом № 3 освещения вообще не отражены. Изображение металлической пластины на фотографиях с вариантом № 2 достаточно четкое, символы хорошо разборчивы. Однако на рис. 2, кадр которого сделан на расстоянии 0,5 м от объекта, наблюдаются засвет и конкретный пучок света, что ухудшает видимость предмета. С вариантом № 1 освещения на рис. 2 отчетливо виден сам объект и символы, которые на нем имеются. Но изображение с 3-го рисунка расплывчато и нечетко, хотя предмет видно, а символы на нем неразборчивы. Из содержательности рис. 2 и 3 можно сделать вывод, что вариант № 3 не соответствует качественному изображению подводной видеосъемки. Вариант № 1 отлично светит под водой, и на расстоянии до 0,5 м получаются качественные фотографии, на которых отчетливо видно объект исследования. Световой прожектор варианта № 2 хорошо снимает под водой объект исследования на расстоянии больше, чем 0,5 м, поэтому такой фонарь эффективно будет эксплуатироваться на дальние дистанции до 2 м.

Во время испытаний макет подводного дрона показал высокие ходовые качества и устойчивость течению [6]. Установленная на макете камера работала стабильно и записывала материалы на жесткий диск, установленный в пульте управления дроном. Время работы дрона от аккумулятора составило 2 часа, причем еще 20% заряда аккумулятора оставалось. Потребления тока прожекторов составляло от 10 до 25% от общего тока потребления подводного дрона. Световые прожекторы, которые устанавливались на корпус дрона, общий баланс не нарушали, однако с вариантами № 2 и 3 световых прожекторов движение подводного дрона заметно ухудшилось, поскольку данные фонари несколько понизили гидродинамику.

Подводя итог вышесказанному, хочется отметить, что освещение для подводного дрона модульной конструкции является одной из главных задач для высокоэффективной эксплуатации, поскольку исследование каких-либо подводных объектов требует четкого и разборчивого изображения. В ходе натурных испытаний по подбору мощности освещения для подводного дрона

модульной конструкции команда разработчиков пришла к выводу, что световых прожекторов одинаковой мощности недостаточно. Вследствие этого принято решение, что в скором времени на макете подводного дрона будут комбинироваться световые прожекторы различных мощностей для ближнего и дальнего освещения.

### Литература

1. Популяционная биология, генетика и систематика гидробионтов. – Том 1. – М.: КамчатНИРО, 2005. – 444 с.
2. Байдалинова Л.С. Биохимия гидробионтов. Лабораторный практикум: Учеб. пособ. – М.: Моркнига, 2018. – 336 с.
3. Белов О.А. Современное состояние организации комплексной защиты металлических корпусов кораблей и судов от коррозии // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2017. – № 3 (118). – С. 115–120.
4. Белов О.А., Швецов В.А., Белавина О.А. Способ контроля защищенности стальных корпусов кораблей и судов от электрохимической коррозии и электрокоррозии: Патент на изобретение RU 2643709 С1, 05.02.2018. Заявка № 2017115308 от 28.04.2017.
5. Змеев А.Д., Рогожников А.О. Перспектива использования подводных дронов для оценки технического состояния антикоррозийной защиты судна // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Четвертой междунар. науч.-практ. конф. Петропавловск-Камчатский, 25–26 октября 2021 г. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2022. – С. 109–112.
6. Змеев А.Д., Рогожников А.О., Ястребов Д.П. Разработка и организация испытаний подводного дрона модульной конструкции // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы XIII Нац. науч.-практ. конф. Петропавловск-Камчатский, 22–23 марта 2022 г. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2022. – С. 97–101.

УДК 656.615

**Е.Е. Соловьева**

*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
Владивосток, 690087  
e-mail: pillers@mail.ru*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ В РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОИСКА И ВЫЕМКИ КОНТЕЙНЕРОВ**

Рассматриваются предложенные в научной литературе варианты решения задачи разработки компьютеризированной системы складской грузопереработки для механизированного морского контейнерного терминала. Особое внимание уделено существующим алгоритмам поиска оптимальной стратегии перестановки блокирующих контейнеров для получения доступа к контейнерам, которые подлежат в данный момент времени обслуживанию.

**Ключевые слова:** контейнерный терминал, перегрузочное оборудование, контейнерный штабель, математическое моделирование.

**E.E. Soloveva**

*Far Eastern State Technical Fisheries University,  
Vladivostok, 690087  
e-mail: pillers@mail.ru*

### **RESEARCH OF APPROACHES IN THE ALGORITHMS DEVELOPMENT FOR MANAGING AN AUTOMATED SYSTEM FOR ORGANIZING THE SEARCH AND SEIZURE OF CONTAINERS**

The options proposed in the scientific literature for solving the problem of developing a computerized warehouse cargo handling system for a mechanized sea container terminal are considered. Particular attention is paid to the existing algorithms for searching strategic permutations of blocking containers to access the maintained containers.

**Key words:** container terminal, handling equipment, container stack, mathematical simulation.

Конкурентоспособность морского контейнерного порта в значительной степени зависит от срока обслуживания судов, и, следовательно, минимизация времени их нахождения у причала является главным лимитирующим критерием в отношении терминальных операций.

Для сокращения временного показателя выгрузка с борта судна и штабелирование производятся без учета дальнейших действий с контейнерами (перевалка груза с одного вида транспорта на другой, хранение груза, обязательные таможенные операции с импортным грузом и т. п.). При такой организации погрузо-разгрузочных работ зона хранения служит буфером, где поступающие контейнеры складываются во временные штабеля, которые расформируются и переформируются в зависимости от дальнейших операций [1, 2], производимых с грузом (выдача грузополучателю, убытие другим видом транспорта, взвешивание, таможенный контроль и др.). При выполнении селективных операций поиска и выемки прямой доступ возможен только к самому верхнему контейнеру каждого стека штабеля. Если необходимо извлечь из штабеля контейнеры, расположенные в нижних ярусах стеков, то приходится выполнять непроизводительные операции снятия и перемещения контейнеров, хранящихся над ними (блокирующие контейнеры).

Из-за трудоемкости и частоты выполнения этих операций в мировой научной литературе имеется большое количество публикаций, в которых предложены различные способы внутренней перестановки контейнеров на терминалах порта [3–5]. Каждый из предложенных способов имеет свои достоинства и недостатки, поэтому можно сделать вывод, что задача оптимизации селективного поиска и выемки целевых контейнеров из штабеля так до конца не решена.

Одно из направлений, в рамках которого решается данная задача, – разработка различных систем или алгоритмов управления процессом перестановки контейнеров в рамках одного штабеля. Все научные работы этого направления условно можно разделить на две группы: определение местоположения контейнера в штабеле с применением различных систем кодирования (операция поиска без выемки контейнеров), непосредственный поиск целевых контейнеров в штабеле и их выемка с использованием оптимизационных алгоритмов.

Применение различных систем кодирования для определения местонахождения контейнера в грузопотоке начали широко обсуждать в научной литературе еще в 1982 г. [6]. В качестве инструмента кодирования в подобных системах используются штрих-коды и радиочастотные метки, которые нанесены на контейнер. В качестве примера использования машиносчитываемых штриховых кодов можно привести компьютерную систему управления портовым контейнерным терминалом [7]. Объектом приложения управляющих воздействий в данном случае является погрузчик (трейлер), который оснащен передающим устройством.

Сигнал с этого передающего устройства отправляется в диспетчерский пункт, оснащенный приемником GPS с антенной, предназначенной для приема навигационного сигнала, и передающей радиостанцией, предназначенной для передачи информации на погрузчик и трейлеры. Сигнал содержит в себе коды номера погрузчика (трейлера), его текущее состояние (занят, свободен) с информацией о его местоположении (привязка к местности). В свою очередь, обработав полученные сведения, с диспетчерского геодезического пункта на выбранный погрузчик и/или трейлер передается информация о номерах контейнеров, их местоположении на контейнерном терминале и порядке совершения действий с ними. Недостатком рассматриваемого способа является ограничение на использование штрихового кода, а именно – невозможно считывать закодированную информацию на удалении от контейнера, т. е. дистанционно. Этот недостаток снижает эффективность и функциональные возможности управления портовым контейнерным терминалом. Замена штрих-кода на радиочастотную метку позволяет уже дистанционно получать информацию о конкретном контейнере в штабеле. Такой вариант компьютерной системы управления портовым контейнерным терминалом предложен в работе [8].

Обе представленные системы автоматизации процесса управления портовым контейнерным терминалом касаются только определения местоположения контейнера на терминале с применением различных систем кодирования, но не обеспечивают автоматизацию селективного поиска контейнера в штабеле с применением системы кодирования.

В работах [9, 10] рассмотрены системы организации слежения за импортными грузопотоками, оформляемыми по технологии предварительного информирования [11], в процессе их выгрузки с судна и опасными грузами в процессе погрузки на борт. Эти работы объединены тем, что система идентификации (поиска) целевых контейнеров в грузопотоке, выгружаемом с борта судна (загружаемом на борт), организована на основе применения специальных QR-кодов. В процессе погрузо-разгрузочных работ основной QR-код на крыше контейнера сканируется считывающим устройством (СУ), установленным в нижней части тележки козлового крана. В случае нахождения контейнера на терминале с помощью переносного СУ сканируются вспомогательные QR-коды, расположенные на боковых стенках и дверях контейнера. Преимуществом QR-кода (в отличие от штрих-кода) является то, что он несет в себе не просто текстовую информацию, а гиперссылки. Получив уникальную гиперссылку, устройство автоматически отправляет ее в базу данных таможенного органа порта прибытия. Далее с помощью специальной программы выполняется автоматический переход по данной ссылке и открывается доступ к информации о принятом в отношении каждого конкретного контейнера решении, в частности, о необходимости проведения процедуры таможенного досмотра груза внутри контейнера [12]. Контейнеры, попавшие под таможенные процедуры, отделяют от общего грузопотока и размещают в отдельном штабеле, тем самым устраняя в дальнейшем необходимость селективного поиска их в общей массе контейнеров, размещенных в зоне хранения терминала.

С системами управления контейнерными терминалами на основе оптимизационных алгоритмов можно ознакомиться в работах [13–15]. В отличие от публикаций, представленных выше, здесь акцент в автоматизации смещен в направлении поиска оптимальной стратегии выемки целевых контейнеров. Так, в работе [13] рассмотрен процесс обработки железнодорожного подвижного состава на тыловом грузовом фронте морского контейнерного терминала. Отмечено, что наиболее трудоемкой операцией процесса является выемка из штабелей контейнеров (целевые),

составляющих грузовую партию для погрузки на конкретный железнодорожный состав. Выемка из штабеля даже одного целевого контейнера в общем случае требует дополнительных перемещений контейнеров, блокирующих доступ к нему («непроизводительные движения перегружателя»). Поиск оптимальной стратегии выемки целевых контейнеров выполняется с использованием двух критериев оптимальности. Первый – показатель отношения числа производительных движений к общему их числу, т. е. сумме производительных и непроизводительных движений (показатель селективности). Чем ближе показатель селективности к единице, тем больше целевых контейнеров в штабеле находятся в прямом доступе, а стремление селективности к нулю характеризует большое количество блокирующих контейнеров в штабеле, т. е. повышение трудоемкости выемки за счет увеличения непроизводительных операций. Второй – оценка минимальной длительности интервала обработки состава при фиксированной численности технологического оборудования.

В рамках поставленной задачи авторы рассматривают три альтернативных решения (стратегии обработки штабеля в зоне хранения):

- формирование вспомогательного штабеля из целевых контейнеров (т. е. принадлежащих к вывозимой железнодорожной партии) в свободный промежуток между обработкой на тыловом грузовом фронте железнодорожных подач (престакинг со вспомогательным штабелем);

- для ускорения обработки железнодорожного подвижного состава на тыловом грузовом фронте временно прекращаются все другие операции, не связанные с этой обработкой и использующие то же технологическое оборудование (временное усиление одной технологической операции за счет перераспределения погрузчиков);

- роль вспомогательного штабеля выполняют несколько секций склада с высокой ярусностью штабелирования, таким образом, нет необходимости формировать вспомогательный штабель в непосредственной близости от тылового грузового фронта (престакинг с повышенной ярусностью отдельных секций).

Оптимальный вариант из возможных решений выбирается на основе рационального сравнения, которое предполагает выполнение на первом этапе аналитических расчетов. На втором этапе аналитические расчеты подтверждаются имитационным моделированием каждого из предложенных вариантов.

В статье [14] подробно показано, как на основе рационального сравнения выбирать оптимальный вариант из возможных стратегий с использованием критерия минимизации количества непроизводительных операций. С помощью методов классической теории вероятности случайным образом задается местоположение целевого контейнера и определяются все возможные варианты выборки его из штабеля. По каждому из вариантов определяется число непроизводительных операций. Выборка осуществляется за одно движение, когда в верхнем ярусе находится хотя бы один целевой контейнер из списка (число непроизводительных операций равно нулю). Максимальное количество движений потребуется в случае, если все целевые контейнеры расположены в нижнем ярусе (число непроизводительных операций равно количеству перемещений блокирующих контейнеров). С ростом числа целевых контейнеров необходимое для выемки число непроизводительных перемещений значительно уменьшается.

В работе [15] рассмотрен вариант работы имитационной модели выемки целевых контейнеров с перестановкой блокирующих контейнеров на свободные места в рядах штабеля в рамках одной секции с использованием специализированного складского перегружателя (RTG или RMG). Целью проведения исследования на модели является выявление зависимости между числом движений крана при выборке контейнеров из штабеля и занятостью склада. На первом этапе работы модели генерируется конфигурация штабеля, в которой случайным образом распределяются частично заполненные и полностью заполненные ярусы. На втором этапе случайным образом задается количество целевых контейнеров с их конкретным местом положения в штабеле. На третьем этапе осуществляется поиск вариантов перестановок блокирующих контейнеров в ряды с частично заполненными ярусами в рамках секции, в которой находится целевой контейнер. Если частично заполненных рядов в рамках секции больше нет, то RTG будет вынужден временно поставить следующий по порядку выемки блокирующий контейнер в ряд с полностью заполненным ярусом. После того как целевой контейнер будет удален из штабеля, необходимо вернуть временно размещенные блокирующие контейнеры из полностью заполненных рядов на их прежнее место, т. е. в ряд, где ранее находился целевой контейнер.



Следует отметить, что в случае перемещения блокирующих контейнеров в полностью заполненные ряды количество непроизводительных движений RTG увеличивается в два раза по сравнению с операциями по перемещению в ряды с частично заполненными ярусами.

В статье [16] рассмотрен вариант поиска и выемки контейнеров из штабеля с применением в качестве управляющей системы детерминированного конечного автомата (ДКА). Эта работа является примером использования в системе управления как элементов кодирования, так и автоматизации поиска с применением математического моделирования.

Объектом управления в системе является последовательность действий ричстакера при выполнении операции выемки целевого контейнера из штабеля. Последовательность действий задается строкой входных символов  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , в которой каждый символ является кодом одного действия погрузчика. Например, действие «снять верхний контейнер в стеке» кодируется символом  $\times$ . Любая логическая последовательность выполняемых операций по разблокированию и выемке целевых контейнеров (строка входных символов) генерируется с помощью диаграммы переходов ДКА (конечно-автоматного графа функционирования складировочного оборудования).

Рассмотрев предложенные в научной литературе технические решения отдельных подзадач (определение местоположения оборудования и контейнеров [7, 8], поиск оптимальной стратегии выемки контейнеров [13–15], автоматизация последовательности выемки целевого контейнера [6]), можно сделать однозначный вывод о возможности создания компьютеризированной системы складской грузопереработки для механизированного морского контейнерного терминала путем объединения перечисленных выше разработок в единый комплекс. Например, вариант компьютеризированной системы складской грузопереработки импортного грузопотока может содержать в своей оболочке следующие технические решения: идентификация (поиска) целевых контейнеров в грузопотоке, выгружаемом с борта судна на основе применения специальных QR-кодов [10], поиск оптимальной стратегии перестановки блокирующих контейнеров по критерию минимизации показателя селективности [14], автоматизация процесса действий перегружателя при выполнении операции выемки целевых контейнеров [16].

### Литература

1. Маликова Т.Е. Организация таможенного контроля на контейнерных терминалах в морских пунктах пропуска // Проблемы транспорта Дальнего Востока: FERBAT-13: Материалы юбилейной Десятой междунар. науч.-практ. конф., посвященной 200-летию адмирала Г.И. Невельского. Владивосток, 02–04 октября 2013 года. – Владивосток: Российская академия транспорта, Дальневосточное отделение, 2013. – С. 81–83.
2. Маликова Т.Е., Янченко А.А. Системный анализ взаимодействия участников транспортного рынка при оформлении грузов в морском порту // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 25–29.
3. Daganzo C.F. Fundamentals of transportation and traffic operations. – New-York: Elsevier Science inc., 1997.
4. Козан Э., Престон П. (2007). Математическое моделирование перегрузок и мест хранения контейнеров на терминалах морских портов [Электронный ресурс] // Контейнерные терминалы и грузовые системы / К.Х. Ким, Х.О. Гюнтер (ред.). – Шпрингер: Берлин – Гейдельберг. – URL: [https://doi.org/10.1007/978-3-540-49550-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-540-49550-5_5).
5. Kim K.H. Evaluation of the number of re-handles in container yards [Электронный ресурс] // Computers and Industrial Engineering. – 1997. – 32 (4). – P. 701–711. – DOI 10.1016/S0360-8352(97)00024-7.
6. Майоров Н.Н., Таратун В.Е. Исследование и практическая реализация модели идентификации объектов систем учета материального потока на основе стандартов CCSDS [Электронный ресурс] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2022. – № 1. – С. 72–80. – DOI 10.24143/2073-5529-2022-1-72-80.
7. Патент № 2172524 С1 Российская Федерация, МПК G08G 1/123. Компьютерная система управления портовым контейнерным терминалом: № 2000108786/09; заявл. 04.04.2000; опубл. 20.08.2001 / Л.В. Рыбкин, А.В. Ильин, Е.С. Майсон [и др.]; заявитель Закрытое акционерное общество «Сателлит-СПб».

8. Патент № 2435228 С1 Российская Федерация, МПК G08G 1/123, G01S 1/02, G01S 5/02. Компьютерная система управления портовым контейнерным терминалом: № 2010115740/11: заявл. 20.04.2010; опубл. 27.11.2011 / *В.И. Дикарев, В.А. Шубарев, В.А. Мельников* [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество «Авангард».

9. *Филиппова А.И., Тарбеев К.А., Радочинская А.Ж.* Разработка системы слежения за опасными грузами в условиях морских контейнерных перевозок // Молодежь. Наука. Инновации: Материалы 64-й Междунар. молодеж. науч.-техн. конф. – Владивосток. – 2016. – С. 20–23.

10. *Маликова Т.Е., Филиппова А.И.* Разработка системы слежения за импортными грузопотоками, оформляемыми по технологии предварительного информирования в морском пункте пропуска // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 4–2 (34). – С. 32–36.

11. Разработка инфологической модели базы данных предварительного информирования таможенных органов для судоходной компании / *А.И. Азовцев, Т.Е. Маликова, А.И. Филиппова, А.А. Янченко* // Морские интеллектуальные технологии. – 2016. – № 3–1 (33). – С. 327–332.

12. *Янченко А.А., Маликова Т.Е., Кузьмин А.В.* Алгоритм оформления судна в порту по технологии предварительного информирования таможенных органов в условиях свободного порта Владивосток // Территории опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации и свободный порт Владивосток: Сборник научных трудов X Регион. науч. конф., посвященной 25-летию ФТС России. Владивосток, 05–06 октября 2016 года. – Владивосток: Владивостокский филиал Российской таможенной академии, 2016. – С. 25–262.

13. *Кузнецов А.Л., Кириченко А.В., Семенов А.Д.* Планирование работы тыловых грузовых фронтов морских контейнерных терминалов методами имитационного моделирования // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 2. – С. 243–253. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-2-243-253.

14. *Кузнецов А.Л., Семенов А.Д., Борович А.З.* Анализ оптимизационных стратегий складирования контейнеров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 5. – С. 803–812. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-5-803-812.

15. *Кузнецов А.Л., Семенов А.Д., Левченко В.П.* Влияние технических ограничений перегрузочного оборудования на производительность операций // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 417–429. – DOI 10.21821/2309-5180-2019-11-3-417-429.

16. *Радочинская А.Ж., Маликова Т.Е.* Модель формирования для таможенных целей вспомогательного штабеля контейнеров на языке конечных автоматов // Эксплуатация морского транспорта. – 2021. – № 2 (99). – С. 59–66. – DOI 10.34046/aumsuomt99/10.

УДК 621.3.072.2

**И.А. Ященко, С.В. Коллегов**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: yashenko567@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ГЕНЕРАТОРНОМ РЕЖИМЕ**

Совершенствование систем электроснабжения, повышения их надежности и эффективности является важной актуальной задачей. Для ее решения необходимо проводить различные исследования, в том числе по оценке режимов работы различного электрооборудования. Основой электроснабжения является генератор. В статье приведены данные по исследованию основных режимов генератора постоянного тока при параллельном и независимом подключении обмоток возбуждения. Проведен анализ выходных параметров генератора постоянного тока.

**Ключевые слова:** электрические машины, обратимость электрической машины, постоянный ток, генераторный режим, регулирование напряжения.

**I.A. Yashenko, S.V. Kollegov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: yashenko567@mail.ru*

## **RESEARCH AND ANALYSIS OF DC MACHINE OPERATING MODES IN GENERATOR MODE**

Improving power supply systems, increasing their reliability and efficiency is an important urgent task. To solve this problem, it is necessary to conduct various studies, including the assessment of the operating modes of various electrical equipment. The basis of power supply is generator. The data on the study of the main modes of the DC generator with parallel and independent connection of the excitation windings were presented. The analysis of the output parameters of the DC generator was carried out.

**Key words:** electrical machines, electrical machine reversibility, direct current, generator mode, voltage regulation.

В практической деятельности периодически возникает необходимость принятия нестандартных технических решений. Часто это связано с отсутствием для тех или иных устройств стандартного оборудования и необходимостью его замены имеющимися в наличии нестандартными аналогами [1, 2]. Например, исходя из принципа обратимости электрических машин, можно рассмотреть возможность использования электродвигателя в качестве генератора для производства электрической энергии в автономных системах электроснабжения [3, 4].

Так как в этом случае длительный генераторный режим для электрической машины является нестандартным, необходимо предварительно оценить выходные параметры этой машины и возможность ее использования в качестве генераторного агрегата. Одним из выходных параметров генератора, определяющих его работоспособность в системе, является величина ЭДС, которая зависит от частоты вращения агрегата.

Задачей исследования являлось определение рабочих характеристик произвольной машины постоянного тока в генераторных режимах при параллельном и независимом включении обмотки возбуждения. Анализируя данные характеристики, требовалось установить возможность использования данной электрической машины в качестве генератора и рекомендовать наиболее оптимальные источники механической мощности для обеспечения генераторного режима [5, 6].

Для проведения исследования использовалась электрическая машина постоянного тока типа ПЛ-062 УХЛ4. Паспортные характеристики данной машины приведены в табл. 1.

## Паспортные данные машины постоянного тока

Двигатель постоянного тока типа ПЛ-062 УХЛ4	
Параметры	Значения
Номинальная мощность, Вт	90
Номинальное напряжение, В	220
Потребляемый ток, А, не более	0,76
КПД, %	57,5
Синхронная частота вращения, мин <sup>-1</sup>	1500
Номинальный вращающий момент, Н*м	0,57
Кратность начального пускового вращающего момента	2
Масса, кг	4,3

В качестве источника механической мощности для исследуемого генератора в эксперименте использовался регулируемый асинхронный двигатель с частотным управлением. Контроль параметров осуществлялся через блок щитовых контрольно-измерительных приборов. Регулируемым параметром являлась частота вращения асинхронного двигателя, контрольным параметром – ЭДС генератора [7, 8].

В первом эксперименте произведена оценка зависимости ЭДС от частоты вращения генератора постоянного тока при питании обмотки возбуждения независимого источника. Для этого была разработана и собрана схема соединений элементов, участвующих в эксперименте, как показано на рис. 1.

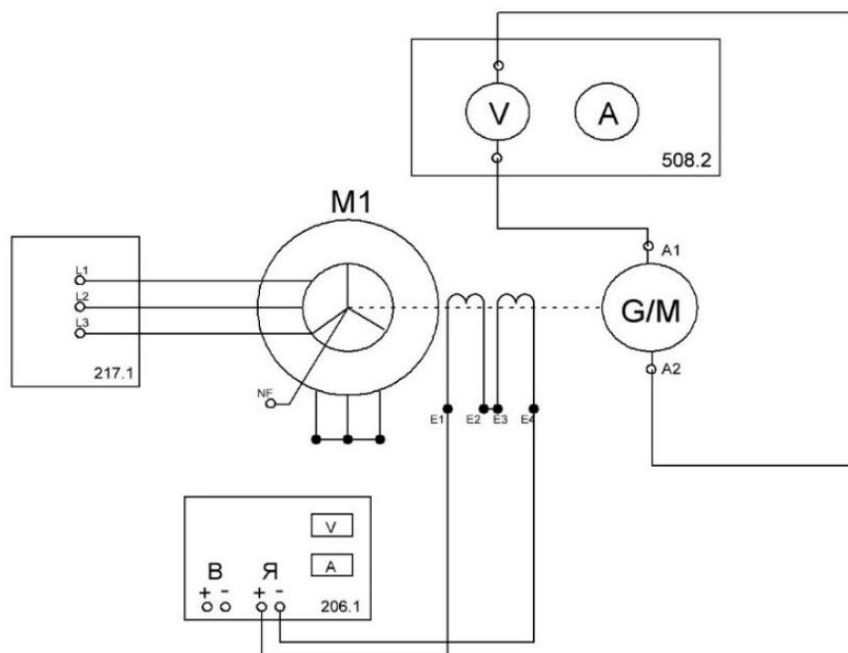


Рис. 1. Схема соединения электродвигателя постоянного тока типа ПЛ-062 УХЛ4 при независимом возбуждении: M1 – трехфазный асинхронный двигатель; G/M – машина постоянного тока; V – вольтметр

В ходе эксперимента производились замеры ЭДС каждые 100 об/мин. Генератор приводился в движение при помощи асинхронного трехфазного электродвигателя в диапазоне скоростей от 0 до 1500 об/мин. Регулирование скорости асинхронного двигателя производилось с помощью преобразователя частоты. Таким образом, было проведено 15 измерений значений ЭДС. Для того чтобы минимизировать погрешности в результате измерений, было решено повторить эксперимент три раза при нормальных условиях [9, 10].

Экспериментальные значения ЭДС генератора при независимом возбуждении для трех замеров, а также вычисленные средние арифметические значения для каждой ступени приведены в табл. 2.

Значения ЭДС при регулировании частоты вращения генератора постоянного тока независимого возбуждения

Частота вращения, об/мин <sup>-1</sup>	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$U_3$ , В	$U_{cp}$ , В
0	0	0	0	0
100	11	11	12	11
200	23	24	24	24
300	37	35	35	36
400	48	46	47	47
500	60	59	59	59
600	73	70	70	71
700	84	82	82	83
800	97	95	94	95
900	108	106	105	106
1 000	120	118	117	118
1 100	132	130	127	130
1 200	144	142	140	142
1 300	156	154	151	154
1 400	167	166	163	165
1 500	180	179	176	178

Близость значения  $U_{cp}$  к экспериментальным значениям свидетельствует о достаточной точности измерений. Для наглядности результатов эксперимента и упрощения проведения анализа полученных данных построена диаграмма зависимости ЭДС генератора постоянного тока независимого возбуждения от частоты вращения асинхронного двигателя. Данная диаграмма приведена на рис. 2.

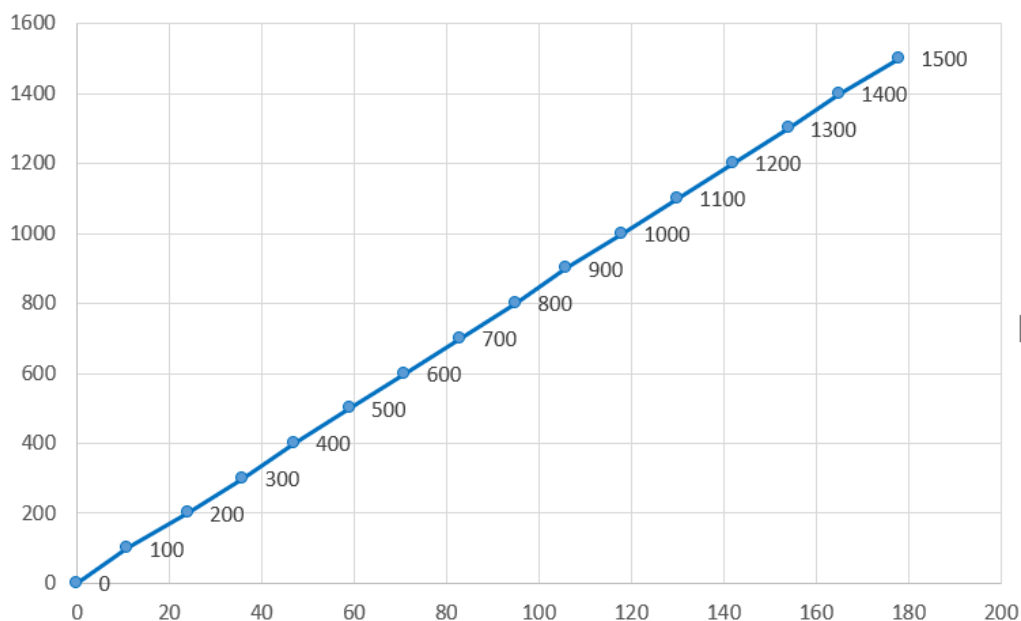


Рис. 2. График зависимости ЭДС генератора от частоты вращения при независимом возбуждении

Как видно из диаграммы, полученная зависимость имеет линейный характер. Это объясняется постоянством магнитного потока на полюсах и изначальной насыщенностью магнитной системы. Такой режим работы позволяет получить прямо пропорциональную зависимость ЭДС от частоты вращения. При этом практически во всем диапазоне частоты вращения ЭДС имеет устойчивое значение.

Во втором эксперименте проведены исследования зависимости ЭДС генератора постоянного тока от частоты вращения асинхронного двигателя при параллельном соединении обмотки возбуждения и обмотки якоря генератора. Для этого была разработана и собрана схема соединений элементов, участвующих в эксперименте, как показано на рис. 3.

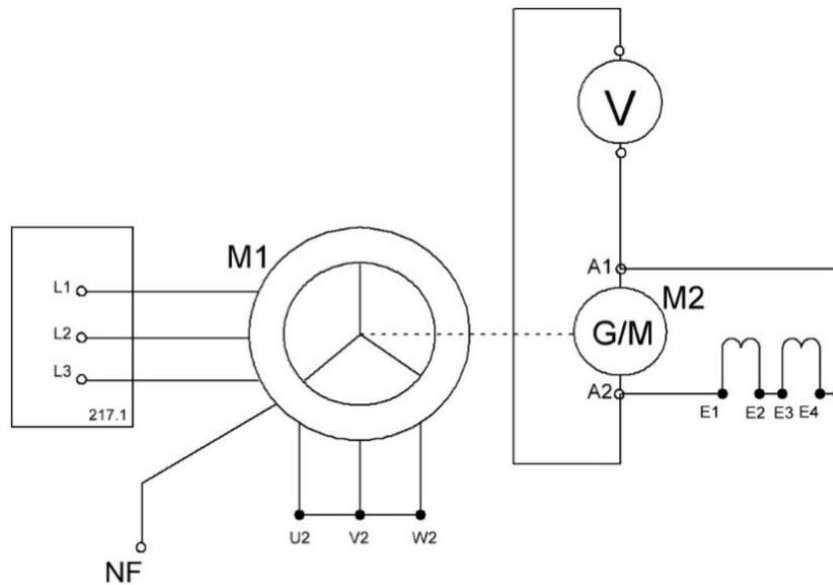


Рис. 3. Схема соединения электродвигателя постоянного тока типа ПЛ-062 УХЛ4 при параллельном возбуждении: M1 – трехфазный асинхронный двигатель; G/M – машина постоянного тока; V – вольтметр

В ходе эксперимента производились замеры ЭДС каждые 100 об/мин. Генератор приводился в движение при помощи асинхронного трехфазного электродвигателя в диапазоне скоростей от 0 до 1 500 об/мин. Регулирование скорости асинхронного двигателя производилось с помощью преобразователя частоты. Таким образом, было проведено 15 измерений значений ЭДС. Для того чтобы минимизировать погрешности в результате измерений, было решено повторить эксперимент три раза при нормальных условиях.

Экспериментальные значения ЭДС генератора при параллельном возбуждении для трех замеров, а также вычисленные средние арифметические значения для каждой ступени приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Значения ЭДС при регулировании частоты вращения генератора постоянного тока параллельного возбуждения**

Частота вращения, об/мин <sup>-1</sup>	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$U_3$ , В	$U_{cp}$ , В
0	0	0	0	0
100	0,3	0,3	0,3	0,3
200	0,7	0,7	0,7	0,7
300	1,1	1,2	1,3	1,2
400	1,7	1,8	1,8	1,8
500	2,3	2,5	2,4	2,4
600	3,6	3,5	3,5	3,5
700	4,5	5	5	4,8
800	6,9	7,7	7,4	7,3
900	16	18	17	17
1 000	56	57	55	56
1 100	83	84	83	83
1 200	106	105	104	105
1 300	123	124	125	124
1 400	141	142	142	142
1 500	160	159	158	159

Близость значения  $U_{cp}$  к экспериментальным значениям свидетельствует о достаточной точности измерений. Для наглядности результатов эксперимента и упрощения проведения анализа полученных данных построена диаграмма зависимости ЭДС генератора постоянного тока независимого возбуждения от частоты вращения асинхронного двигателя. Данная диаграмма приведена на рис. 4.

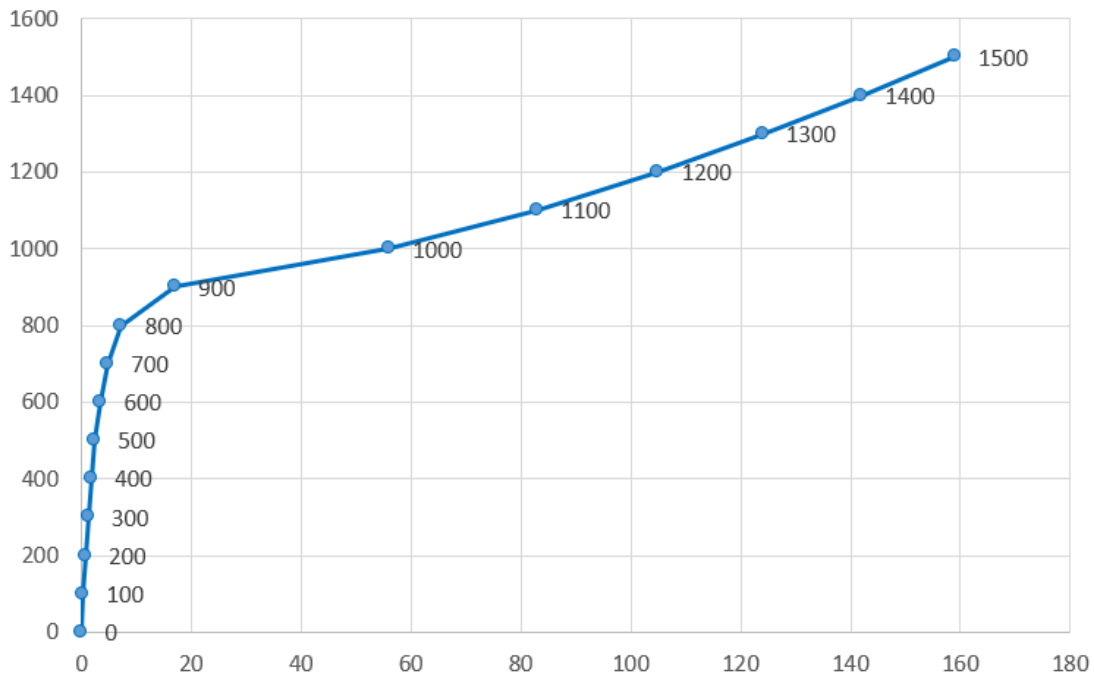


Рис. 4. График зависимости ЭДС генератора от его частоты оборотов при параллельном возбуждении

Как видно из диаграммы, в диапазоне частоты вращения от 0 до 800 об/мин существенного роста ЭДС генератора при параллельном возбуждении не наблюдается. Это объясняется нестабильностью магнитного потока полюсов и ненасыщенностью магнитной системы.

В диапазоне от 800 до 1 200 об/мин происходит рост магнитного потока полюсов и постепенное насыщение магнитной системы. В результате наблюдается увеличение значения ЭДС генератора. Однако данный участок характеристики имеет нелинейный характер, что говорит о нестабильном режиме работы генератора в этом диапазоне частоты вращения.

Наиболее эффективная работа генератора обеспечивается при достижении оборотов от 1 200 до 1 500 об/мин. На этом участке характеристика приобретает линейный вид, устойчивость работы генератора возрастает. При колебании частоты вращения в данном диапазоне характеристики максимальное отклонение ЭДС составляет около 40 В.

Сравнительный анализ характеристик при независимом и параллельном возбуждении генератора также показывает, что на линейном участке работы при равенстве частоты вращения ЭДС генератора независимого возбуждения выше, чем ЭДС генератора параллельного возбуждения. Это объясняется тем, что при параллельном подключении часть энергии тратится на возбуждение.

Таким образом, исследование показало, что механические характеристики при параллельном и независимом возбуждении существенно отличаются. Характеристика генератора с параллельным возбуждением на малых оборотах имеет неустойчивое значение ЭДС, так как магнитная система ненасыщена. При независимом возбуждении характеристика имеет линейный характер, обеспечивает устойчивую работу генератора практически на любых оборотах, что позволяет использовать данный генератор с любыми приводами или источниками механической энергии [11, 12].

Отсутствие независимых источников питания в автономных системах электроснабжения не позволяет использовать исследуемую электрическую машину постоянного тока в качестве генератора. Для этих целей требуется применение или разработка низкооборотистых машин постоянного тока с насыщенной магнитной системой [13, 14].

### Литература

1. 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 VII Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2016. – С. 112–114.

2. *Белов О.А.* К вопросу оценки безопасности морских судов камчатского флота // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 80–83.
3. *Никитин А.Т., Белов О.А.* Перспективы развития малой энергетики как экологичной технологии // Образование, наука и молодежь – 2017: Материалы науч.-практ. конф. – Керченский государственный морской технологический университет, 2017. – С. 268–272.
4. *Белов О.А.* Перспективы автономного электроснабжения удаленных объектов с использованием бесплотинных ГЭС // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2016. – С. 109–111.
5. *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.
6. *Кротенко Д.С., Белов О.А.* Моделирование процессов оптимизации режимов судовой электроэнергетической системы при электропитании от береговой сети // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 77–80.
7. *Пантина А.И., Белов О.А.* Контроль технического состояния судовых асинхронных двигателей на основе характеристик внешнего электромагнитного поля // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2017. – Т. 13, № 1. – С. 32–36.
8. *Сивоконь В.П., Лапинов Д.В., Белов О.А.* Диагностические признаки нестандартного проявления нелинейности в электрических сетях // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2019. – № 48. – С. 18–27.
9. *Белов О.А.* Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2017. – С. 51–54.
10. *Белов О.А., Мясников Г.С.* Внедрение комплексной защиты судовых асинхронных электроприводов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 73–76.
11. *Белов О.А., Белова Е.П.* Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.
12. Анализ перспективного развития энергообеспечения Камчатского края / *Д.С. Кротенко, В.А. Семчёв, О.А. Белов, С.А. Жуков* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 51. – С. 6–11.
13. *Белов О.А.* Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 48–56.
14. *Белов О.А.* Анализ структуры генерирующей мощности в изолированных энергоузлах Камчатского края // Энергетика будущего – цифровая трансформация: Сборник трудов II Всерос. науч.-практ. конф. – Липецк, 2021. – С. 281–286.



**СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ,  
НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ СУДОВ АГРЕГАТОВ**

УДК 621.9

**В.А. Витренко, А.А. Ефимов, А.Д. Михайлова, И.Б. Воронцов**

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля,  
Луганск, 91034  
e-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ГИПЕРБОЛОИДНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ  
ПРИ ПОМОЩИ ДИСКОВЫХ И КОНЦЕВЫХ ФРЕЗ**

В работе рассматривается изготовление винтовых гиперboloидных зубчатых поверхностей в пространственном станочном зацеплении при помощи схемы формообразования третьего класса. Нарезание осуществляется при помощи дисковых и концевых (пальцевых) фрез путем относительного движения режущих кромок инструмента вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида. Разработано новое станочное зацепление, позволившее повысить эксплуатационные свойства проектируемых зубчатых поверхностей. В аналитическом виде определены гиперboloидные поверхности, способные иметь линейный характер касания зубьев с сопрягаемыми зубчатыми колесами любой геометрии.

**Ключевые слова:** гиперboloидный инструмент, обрабатываемая деталь, профиль инструмента, схема формообразования, система координат.

**V.A. Vitrenko, A.A. Efimov, A.D. Mikhailova, I.B. Vorontsov**

*Lugansk State University named after Vladimir Dahl,  
Lugansk, 91034  
e-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

**HYPERBOLOID SURFACE SHAPE-FORMATION  
BY MEANS OF SIDE AND END MILLING CUTTERS**

The production of helical hyperboloid gear surfaces in space machine-tool engagement using the third class shape formation schemes is considered. Cutting is produced using side and end (finger) milling cutters by relative motion of instrument cutting edges along rectilinear forming of one-cavity hyperboloid. A new machine-tool engagement allowing to increase operational characteristics of designed gear surfaces has been developed. Hyperboloid surfaces which are able to have rectilinear character of teeth touch with matching gears of any geometry have been defined in analytical form.

**Key words:** hyperboloid instrument, processed part, instrument profile, scheme of shape-formation, coordinate system.

В большинстве машин и механизмов водного транспорта необходимо передавать вращения между скрещивающимися осями. Такое движение на практике передается при помощи различных винтовых зубчатых колес. Кроме того, необходимо повышать производительность изготовления зубчатых колес за счет применения многозаходного инструмента. Такой инструмент имеет в своей основе гиперboloидную основную производящую поверхность [1]. Работа посвящена совершенствованию схем формообразования винтовых зубчатых колес и инструментов. Гиперboloидные зубчатые колеса относятся к колесам винтовой группы зацепления. В промышленности гиперboloидные зубчатые колеса применяют для передачи движения между скрещивающимися осями. Кроме того, гиперboloидный основной червяк применяется для изготовления

гиперboloидной производящей поверхности, применяемой для получения многозаходных зубо-резных фрез [2]. На практике исследователи и технологи стремятся к совпадению поверхности основного червяка с поверхностью производящего червяка [3]. Такое положение позволяет резко сократить трудоемкость изготовления гиперboloидных поверхностей, а также получить качественные высокоточные заготовки.

Нарезание гиперboloидных поверхностей осуществляется на зубофрезерных станках. Большинство станков, имеющих в промышленности, не могут нарезать чисто гиперboloидную основную поверхность, так как в конструкции этих станков нет протяжного движения. Поэтому на таком оборудовании можно нарезать заготовки вида «однополостной гиперboloид» или тела вида «однополостной гиперboloид». Чисто гиперboloидную поверхность можно нарезать путем движения режущей кромки инструмента вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперboloида [4, 5]. Кроме того, для нарезания гиперboloидной поверхности необходимо проводить сложные расчеты и производить сложную настройку зубофрезерного станка.

Для нахождения профиля гиперboloидной поверхности выберем систему координат  $x_1, y_1, z_1$ , в которой записан радиус – вектор, описывающий точку на поверхности дисковой или пальцевой фрез, которые в своем относительном движении описывают зубчатую рейку или цилиндрическое зубчатое колесо бесконечно большого диаметра, с которым будет зацепляться гиперboloидное зубчатое колесо:

$$r_1 = r_1(v, \psi) = \begin{pmatrix} x_1(v) - r \\ y_1(v) \\ z_1(\psi) \end{pmatrix} = (x_1(v) - r)\vec{i} + y_1(v)\vec{j} + z_1(\psi)\vec{k}, \quad (1)$$

где  $x_1(v)$  и  $y_1(v)$  – необходимое число раз дифференцируемые по параметру  $v$  функции;

$r = \text{const}$  – радиус окружности;

$\psi$  – текущая координата по оси зубчатого колеса  $z_1$ .

Далее для простоты переменные параметры  $v$  и  $\psi$  опустим.

Для нахождения радиуса вектора точки на гиперboloидной зубчатой поверхности осуществим переход от системы координат, связанной с описываемым режущими кромками дисковой или концевой фрезы цилиндрическим зубчатым колесом,  $x_1, y_1, z_1$ , к системе координат, связанной с гиперboloидной поверхностью  $x_2, y_2, z_2$ . Такой переход осуществим при помощи матричного исчисления посредством следующего выражения:

$$r_2 = M_{2p} M_{p0} M_{01} r_1, \quad r_2 = M_{21} r_1, \quad (2)$$

где  $M_{21}$  – матрица перехода от системы координат, описывающей зубчатую рейку, к системе координат гиперboloидной зубчатой поверхности.

В координатной форме поверхность или точка поверхности гиперboloидного зубчатого колеса будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} x_2 &= (x_1 - r)(\cos \phi_1 \cos \phi_2 + \cos \gamma \sin \phi_1 \sin \phi_2) + \\ &+ y_1(-\sin \phi_1 \cos \phi_2 + \cos \gamma \cos \phi_1 \sin \phi_2) + z_1 \sin \gamma \sin \phi_2 + A \cos \phi_2; \\ y_2 &= (x_1 - r)(\cos \phi_1 \sin \phi_2 - \cos \gamma \sin \phi_1 \cos \phi_2) + \\ &+ y_1(-\sin \phi_1 \sin \phi_2 - \cos \gamma \cos \phi_1 \cos \phi_2) - z_1 \sin \gamma \cos \phi_2 + A \sin \phi_2; \\ z_2 &= (x_1 - r) \sin \gamma \sin \phi_1 + y_1 \sin \gamma \cos \phi_1 - z_1 \cos \gamma, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\phi_1$  – угол поворота воображаемой зуборезной рейки;

$\phi_2$  – угол поворота гиперboloидной заготовки ( $\phi_2 = u_{21}\phi_1$ , где  $u_{21}$  – передаточное число);

$\gamma$  – угол скрещивания осей;

$A$  – расстояние между осями гиперboloидного изделия и воображаемой зубчатой рейки.

Зная в аналитическом виде поверхность гиперboloидной заготовки, можно произвести расчет и настройку зуборезного оборудования и изготовить различные по геометрии и конструкции гиперboloидные поверхности.

В данном исследовании нарезались гиперboloидные винтовые поверхности на вертикально фрезерном и на горизонтально фрезерном станках с ЧПУ. На вертикально фрезерном станке при помощи концевой фрезы с  $m_n = 1,5$  мм было нарезано гиперboloидное зубчатое колесо с числом зубьев  $z = 10$ . Общий вид этого колеса представлен на рис. 1. Аналогичное гиперboloидное зубчатое колесо было нарезано на горизонтально фрезерном станке с ЧПУ при помощи дисковой модульной фрезы. С увеличением числа витков гиперboloидных зубчатых колес трудоемкость их изготовления резко увеличивается. На рис. 2 изображена гиперboloидная фреза с числом зубьев  $z = 1$ . В основе этой фрезы лежит однозаходная гиперboloидная зубчатая поверхность с числом витков  $z = 1$ . На этой поверхности были прорезаны стружечные канавки. Такая фреза не затыловалась, так как на гиперboloидном инструменте имеются кинематические и геометрические задние углы.



Рис. 1. Гиперboloидная винтовая зубчатая поверхность



Рис. 2. Гиперboloидная фреза

При помощи изготовленной в исследовании фрезы было нарезано цилиндрическое прямозубое зубчатое колесо с числом зубьев  $z = 50$ . Схема нарезания такого колеса представлена на рис. 3. Необходимо отметить, что представленная фреза не затыловалась, так как имеет геометрические и кинематические задние углы.



Рис. 3. Нарезание цилиндрического колеса



Рис. 4. Профилирование шлифовального круга

Для изготовления гиперboloидной шлифовальной поверхности использовались накатники в виде прямобочных дисковых роликов, схема такого формообразования представлена на рис. 4. На столе зубошлифовального станка был установлен прямобочный ролик на высоте расположения прямолинейной образующей гиперboloидного шлифовального круга. Витки шлифовального круга формуются, когда ось прямобочного ролика коллинеарна прямолинейной образующей

гиперboloидного шлифовального круга. Необходимо отметить, что угловая скорость вращения шлифовального круга согласована с поступательным движением ролика вдоль прямолинейной образующей гиперboloидной поверхности. Вращение ролика вокруг своей оси является независимым параметром и может иметь любое число оборотов. Прямобочный ролик может быть выбран любого диаметра. Увеличение диаметра прямобочного ролика теоретически приведет к уменьшению температуры в процессе выкатки, однако это приведет к большему люфту оси, что скажется на потере точности формообразования витка шлифовального круга. При помощи изготовленного многозаходного шлифовального круга удалось получить зубья зубчатых колес с  $m_n = 1$  мм без предварительного нарезания зубьев.

В результате проделанных исследований удалось разработать принципиально новую схему формообразования гиперboloидных поверхностей на вертикально и горизонтально фрезерных станках с ЧПУ. Такое положение позволило резко сократить затраты и трудоемкость изготовления таких колес. Особо ценным является то, что такие поверхности можно изготовить в единичном производстве при помощи недорогих концевых и дисковых фрез.

### Литература

1. *Родин П.Р.* Основы проектирования режущих инструментов. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с.
2. Способ нарезания гиперboloидных зубчатых колёс: Пат. 40480 Украина, МПК В23F 9/00 / А.В. Витренко, О.С. Витренко, И.А. Кириченко; заявитель и патентообладатель ВНУ им. В. Даля. – № 200813259; заявл. 17.11.2008; опубл. 10.04.2009. – Бюл. № 7.
3. *Сахаров Г.Н.* Обкаточные инструменты. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.
4. *Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н.* Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 952 с.
5. *Цвис Ю.В.* Профилирование режущего обкатного инструмента. – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.

УДК 621.7.067

**С.В. Гридин, С.А. Матвиенко, А.В. Лукичев,  
В.В. Варакута, П.В. Крайний, Д.И. Максименко**

*Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, ДНР, 283001  
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

### **РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН**

В статье предложен способ улучшения топливно-экономических и экологических показателей транспортных машин с карбюраторным двигателем внутреннего сгорания за счет обогащения топливно-воздушной смеси молекулярным водородом во время ускорения и периодически во время равномерного движения транспортного средства, а также за счет обмена электрической энергией с внешним источником, необходимой для получения водорода.

**Ключевые слова:** термоэлектрический преобразователь, электролизер, турбина, накопитель, контроллер, расход топлива, топливно-воздушная смесь.

**S.V. Gridin, S.A. Matvienko, A.V. Lukichev,  
V.V. Varakuta, P.V. Krayniy, D.I. Maksimenko**

*Donetsk National Technical University,  
Donetsk, DPR, 283001  
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

### **DEVELOPMENT OF EQUIPMENT COMPLEX TO IMPROVE FUEL EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF TRANSPORT VEHICLES**

The way to improve the fuel-economic and environmental performance of transport vehicles with a carburetor internal combustion engine by enriching the fuel-air mixture with molecular hydrogen during acceleration and periodically during the uniform movement of the vehicle, as well as by exchanging electrical energy with an external source necessary to produce hydrogen was proposed.

**Key words:** thermoelectric converter, electrolyzer, turbine, storage, controller, fuel consumption, fuel-air mixture.

Истощение энергетических ресурсов и промышленное загрязнение окружающей среды напрямую связано с развитием и постоянным ростом мирового парка транспортных машин. В связи с этим становится особенно острой проблема создания экологически безопасных с высокой топливной экономичностью транспортных средств.

Повышение экономичности двигателей достигается совершенствованием их конструкции и позволяет сократить потребление топлива и, соответственно, снизить выбросы загрязняющих веществ. Одновременно обеспечивается сбережение топливно-энергетических ресурсов, что является еще одной важной экологической задачей.

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) традиционных транспортных средств практически 90% времени эксплуатируются на неустановившихся режимах работы. Кроме этого, движение автотранспорта в городских зонах с ограниченными пропускными возможностями магистралей обуславливает использование только незначительной части потенциальной мощности двигателей. Перечисленные факторы являются определяющими в снижении эффективности работы традиционных энергетических установок автотранспортных средств с точки зрения расхода топлива и выбросов вредных веществ.

Одним из решений этих проблем является разработка энергетических установок, способных обеспечивать работу ДВС на режимах его наибольшей эффективности.

На сегодняшний день снижение расхода топлива транспортными машинами с карбюраторным ДВС, а также экологичность подвижного состава являются приоритетными направлениями для производителей автотранспортных средств (АТС).

Улучшение рабочего процесса двигателя достигается применением ограничителей разрежения и электронного управления смесеобразованием, что, соответственно, повышает топливную экономичность и уменьшает выброс загрязняющих веществ. Применение электронных систем впрыска топлива с точным дозированием топлива по отдельным цилиндрам на всех режимах работы двигателя позволяет повысить мощность двигателя на 10–30% и снизить расход топлива на 20–30%. Для уменьшения выбросов токсичных компонентов и экономии топлива применяется бесконтактное электронное и форкамерное зажигание [1, 2].

В настоящее время существует множество вариантов повышения технико-экономических показателей. Одним из таких способов является подготовка топливной смеси перед подачей в ДВС. Подготовка топлива осуществляется за счет обработки топлива магнитным полем [3].

Для улучшения экономических и экологических показателей ДВС желательно при работе на холостом ходу и малых нагрузках обеспечить работу не всех цилиндров, а нескольких, то есть отключать часть цилиндров. Это позволит поддерживать требуемый температурный режим при минимальном расходе топлива и улучшить его экологические показатели [4].

Одним из перспективных направлений повышения энергетических, экономических и экологических показателей ДВС является применение водорода в качестве топлива [5, 6].

Наиболее многообещающим направлением снижения токсичности и расхода топлива признано использование в качестве энергоустановки электрохимических генераторов на базе топливных элементов, а в качестве топлива – водород [7–9].

Поставленная задача решается за счет включения в состав двигателя транспортного средства следующих устройств: турбинный блок выхлопных газов, накладной термоэлектрический преобразователь (ТЭП) блока выхлопных газов, ТЭП радиатора системы охлаждения двигателя. А в конструкцию автомобиля включены: электролизер с электрогидравлическим (ЭлГ) разрядником, металлгидридный накопитель водорода с регулируемым электромагнитным клапаном, блок обмена электроэнергией с внешним источником, блок учета электроэнергии, контроллер зарядки и управления энергосистемой.

Турбинный блок выхлопных газов состоит из регулируемого эжектора вторичного воздуха 2, камеры термической нейтрализации 3, газовой турбины 4 (механически связанной с электрогенератором транспортного средства) и влагоотделителя 5 (рис. 1). Конструкция турбинного блока такова, что его аэродинамические характеристики полностью соответствуют характеристикам серийных систем выпуска отработавших газов и не ухудшают работу двигателя.

Накладной ТЭП блока выхлопных газов 6 выполнен в виде съемного кожуха, охватывающего весь корпус турбинного блока, через стандартный разъем и электрический кабель соединен с контроллером зарядки аккумулятора и управления энергосистемой 1.

ТЭП радиатора системы охлаждения двигателя 7 встроен в решетку охлаждения радиатора в виде термopарных тонких пленок, нанесенных на ребра решетки, и также через стандартный разъем электрическим кабелем соединен с контроллером зарядки.

Питание электроэнергией электролизера 8 и управление электромагнитным клапаном 10 осуществляется с контроллера через стандартные разъемы и электрические кабели. Влагоотделитель и электролизер соединены между собой гидравлической линией с обратным клапаном, предназначенной для возврата водяного конденсата. Электролизер находится в одном корпусе с металлгидридным накопителем 9. Кислородная камера электролизера через дроссельное отверстие соединена с камерой термической нейтрализации.

Металлогидридный накопитель выполнен в виде пластинчатой решетки в верхней части водородной камеры электролизера. В днище электролизера встроены ЭлГ-разрядник, отделенный от емкости электролизера диэлектрической мембраной.

Регулируемый электромагнитный клапан установлен в двойном патрубке системы питания двигателя, одна (короткая) ветвь которого идет от карбюратора прямо к цилиндрам, а другая (длинная) – через решетку металлгидридного накопителя.

Емкость накопителя равна четырем объемам связанного водорода, необходимого для ускорения транспортного средства из состояния покоя до максимальной скорости, что обеспечивает компактность и дешевизну конструкции накопителя. Через разъемы и кабели к контроллеру также подсоединяются блок обмена электроэнергией с внешним источником 11 и блок учета электроэнергии 12.

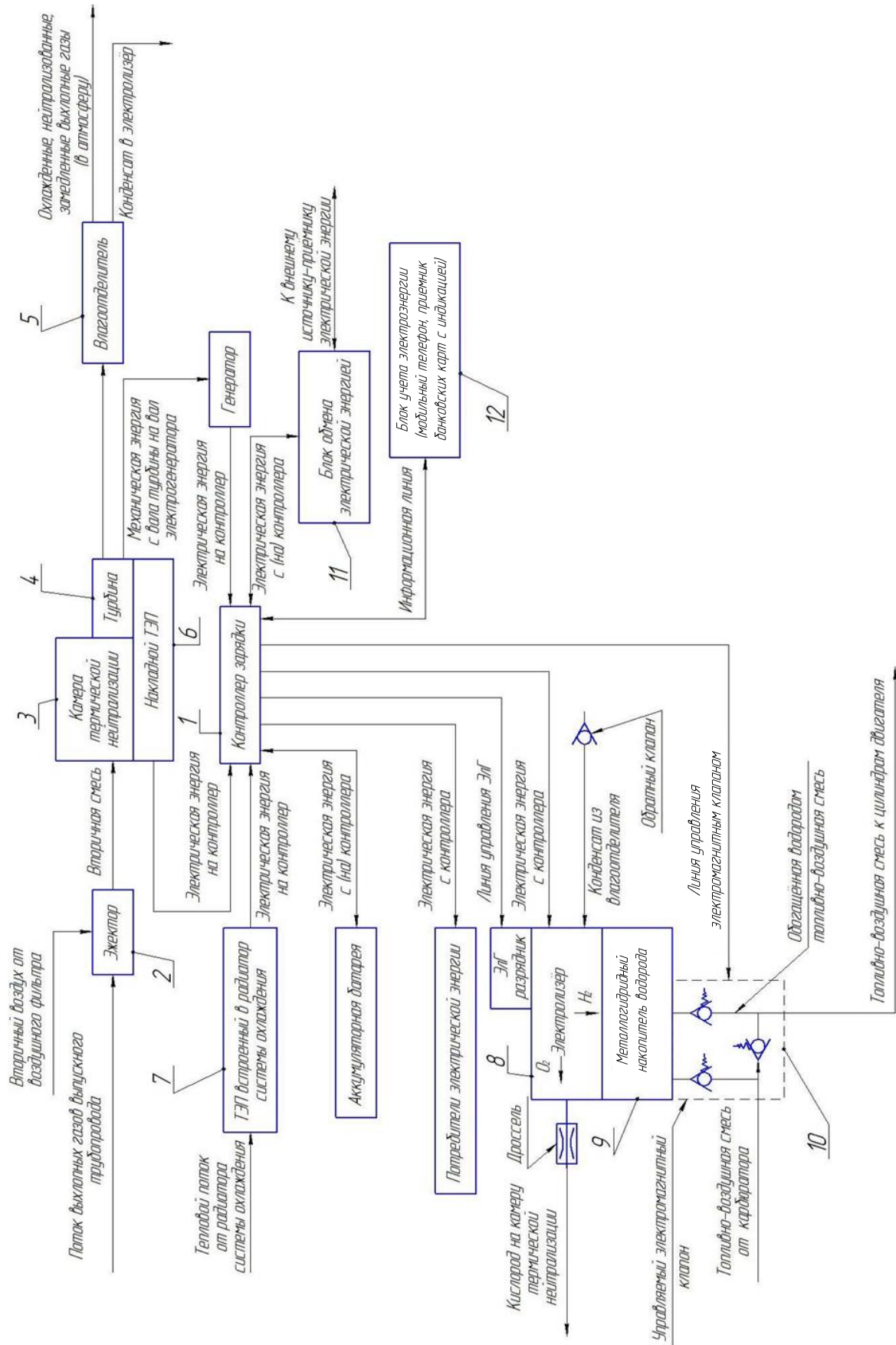


Рис. 1. Функциональная блок-схема

Целесообразно блок обмена электроэнергией с внешним источником выполнить сопрягаемым с устройствами беспроводной динамической зарядки электромобилей при движении по «зарядной траектории», при кратковременных остановках на регулируемых перекрестках, переходах и переездах, оборудованных устройствами беспроводной зарядки (например технология «Halo» фирмы Qualcomm, технология «WEVC» фирмы BRUSA – Швейцария, проект «DWPT» – Великобритания), также с устройствами стационарных зарядных станций, устанавливаемых на заправках, стоянках, парковках и в гаражах (например зарядные станции «ОККО» и «Ensto Chago»). Целесообразно также в качестве блока учета электроэнергии использовать мобильный телефон или приемник банковских карт с индикацией.

Комплекс оборудования работает следующим образом. Из выпускного трубопровода отработавшие выхлопные газы попадают в регулируемый эжектор, где за счет их кинетической энергии происходит подсос вторичного воздуха, количество которого автоматически регулируется в зависимости от режима работы двигателя. Проходя через радиатор охлаждения двигателя, воздушный фильтр и омывая выпускной трубопровод, вторичный воздух нагревается. В камере термической нейтрализации интенсивное перемешивание вторичного воздуха, обогащенного кислородом из электролизера и отработавших выхлопных газов, приводит к окислению не прореагировавших в цилиндрах двигателя остатков  $H_2$ ,  $CH$  и  $CO$  с дополнительным выделением тепла и превращает их в  $CO_2$  и  $H_2O$ , то есть происходит термическая нейтрализация токсичных компонентов. Далее поток выхлопных газов воздействует на лопатки турбины и вращает ее, сам при этом замедляется, охлаждается и также начинает вращаться. Вращаясь, турбина вращает вал электрогенератора, за счет чего и происходит выработка части электроэнергии, необходимой для работы потребителей транспортного средства. Оставшаяся часть необходимой электроэнергии вырабатывается ТЭП при прохождении через них тепла, отводимого от двигателя системой охлаждения, и тепла, отводимого через корпус турбинного блока.

Таким образом, выработка электроэнергии осуществляется за счет тепловых потерь двигателя и кинетической энергии отработавших выхлопных газов. При этом пары воды конденсируются и активно удаляются из потока газов, выбрасываемых в атмосферу во влагоотделителе. Из него конденсат с частично растворенным углекислым газом по гидравлической линии поступает через открытый обратный клапан в электролизер в периоды отбора водорода системой питания двигателя и/или металлгидридным накопителем. При полностью заполненном металлгидридном накопителе и отсутствии отбора водорода системой питания двигателя давление и концентрация водорода в электролизере повышается до верхнего рабочего уровня, и контроллер отключает питание электродов электролизера. При этом регулируемый электромагнитный клапан полностью перекрывает поток топливно-воздушной смеси через водородную камеру, и топливно-воздушная смесь подается из карбюратора прямо в цилиндры двигателя. Обратный клапан гидравлической линии также закрывается. Поток первичного воздуха, пройдя через радиатор системы охлаждения и воздушный фильтр, предварительно нагревается, попадает в карбюратор и обогащается парами топлива. При ускорении транспортного средства регулируемый электромагнитный клапан перекрывает короткую ветвь системы питания двигателя и открывает длинную ветвь, регулируя расход смеси в зависимости от режима ускорения. Проходя по длинной ветви, топливно-воздушная смесь, как и вторичный воздух, параллельно омывая выпускной патрубков, нагревается выше  $100^\circ C$ . Попадая в водородную камеру, топливно-воздушная смесь контактирует с пластинами решетки металлгидридного накопителя. В результате понижения давления и повышения температуры происходит дегидратация материала пластин с активным выделением молекулярного водорода, за счет чего и происходит дополнительное обогащение топливно-воздушной смеси, направляемой в цилиндры двигателя. Одновременно контроллером подается напряжение на электроды электролизера и открывается обратный клапан гидравлической линии подачи конденсата, что обеспечивает выработку водорода и пополнение емкости электролизера водой.

Когда в результате поляризации электродов повышается электрическое сопротивление в цепи электролизера, по команде контроллера срабатывает ЭлГ-разрядник. Гидроударом газ смыывается с поверхности электродов и сопротивление в цепи восстанавливается.

При длительном равномерном движении транспортного средства, полном заполнении металлгидридного накопителя и заряженном аккумуляторе также по команде контроллера периодически происходит обогащение водородом топливно-воздушной смеси, что приводит к снижению



расхода топлива и снижению вредных выбросов. Причем используется только четверть запасенного водорода, а оставшаяся часть резервируется для внештатной дорожной обстановки с частыми остановками и ускорениями.

На стоянке блок обмена электроэнергией с внешним источником – кабелем – подключается к зарядной станции. Это позволяет осуществлять запуск двигателя от внешнего источника электроэнергии, при необходимости пополнять запасы водорода и подзаряжать аккумулятор. При движении по «зарядной траектории» или при работе двигателя на холостом ходу в периоды кратковременных остановок на регулируемых перекрестках, переходах и переездах, оборудованных устройствами беспроводной зарядки, автоматически пополняются запасы водорода и подзаряжается аккумулятор, а блок учета электроэнергии списывает средства за потребленную электроэнергию со счета мобильного телефона или банковской карты. Когда аккумулятор заряжен и металлгидридный накопитель полностью заполнен, излишки вырабатываемой электроэнергии возвращаются к внешнему источнику, а блок учета пополняет счета.

Инновационное решение по применению термоэлектрического преобразователя выхлопной турбины, электролизера и малого металлгидридного накопителя водорода позволяет использовать тепловые и механические потери двигателя для экономии топлива, снижения количества выбросов вредных веществ в атмосферу.

### Литература

1. *Егоров П.В., Ульянов С.Л.* Электрическое и электронное оборудование современных автотранспортных средств. – РТУиС, МГИЭМ, 2003 [Электронный ресурс]. – URL: [http://grachev.distudy.ru/Uch\\_kurs/avtoelektrinica/](http://grachev.distudy.ru/Uch_kurs/avtoelektrinica/)
2. Патент США № 1150523 Engine starting device / C.F. Kettering, 17 Aug 1915. – 15 с.: ил.
3. *Конов М.Ю.* Повышение топливной экономичности двигателя внутреннего сгорания // Молодой ученый. – 2017. – № 24. – С. 155–159.
4. *Бердников А.А., Мингазов С.Р., Жуков А.А.* Повышение экономических показателей двигателей внутреннего сгорания путем отключения части цилиндров // Современные наукоемкие технологии. – 2017. – № 1. – С. 12–16.
5. Hydride`s equipment for internal combustion engines / *B. Timoshevsky, K. Cui, S. Beljakov, A Sirota, X.Cao* // Journal of WUWTE. – Vol. 3, № 8. – 1994. – P. 42–47.
6. *Сурота А.А.* Повышение экономичности судовых ДВС путем использования водорода в качестве добавок к топливу // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – № 1. – С. 63–67.
7. *Lezhnev L.Y, Buckland J., Kolmanovsky I.* Boosted Gasoline Direct Injection Engines: Comparison of Throttle and VGT Controllers for Homogeneous Charge Operation // SAE Technical Paper. – № 2002-01-0709. – 2002.
8. *Lezhnev L.Y, Buckland J., Kolmanovsky I.* Coordinated control of electronic throttle and variable geometry turbocharger in boosted stoichiometric spark ignition engines / United States Patent № 6,672,060 2004.
9. Термоэлектрический преобразователь: Патент на полезную модель RU 162553 U1 МПК H01L 35/30 (2006.01), заявл. 09.12.2015; опубл. 20.06.2016. Бюл. № 17 / *В.В. Варакута, Д.И. Пархоменко, С.В. Гридин, Л.Н. Масюк, А.Ю. Дудченко, Д.И. Максименко.*

УДК 622.625.6

**Е.Л. Игнаткина, А.В. Костенко**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: sel\_post@mail.ru*

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ШАХТНЫХ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ**

В работе описано проведение эксперимента по исследованию коэффициента трения, возникающего при взаимодействии тормозной колодки и стенки монорельса во время торможения подвижного состава шахтной подвесной монорельсовой дороги. Приведены экспериментальная установка, измерительные устройства, план эксперимента и результаты проведенных исследований.

**Ключевые слова:** шахтная подвесная монорельсовая дорога, коэффициент трения, эксперимент, машина разрывная, сила тормозная, сила прижимная, результаты.

**E.L. Ignatkina, A.V. Kostenko**

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

### **RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF BRAKING DEVICES FRICTION COEFFICIENT OF MINE SUSPENDED MONORAILS**

The experiment to study the coefficient of friction occurring in the interaction of a brake shoe and a monorail wall during mine suspended monorail rolling stock braking was described. An experimental setup, measuring devices, an experimental plan and the results of the research are given.

**Key words:** mine suspended monorail, friction coefficient, experiment, tearing machine, braking force, clamping force, results.

Экспериментальные исследования коэффициента трения являются важной составляющей частью исследований процесса торможения шахтных подвесных монорельсовых дорог (ШПМД), необходимой как для проверки основных положений и теоретических результатов, так и для получения данных для синтеза современных тормозных устройств, используемых в подвесных монорельсовых дорогах.

В работе [1] описан этап планирования эксперимента по исследованию коэффициента трения, возникающего при взаимодействии поверхностей тормозной колодки и стенки монорельса во время торможения подвижного состава ШПМД. Выбранные факторы для исследования – прижимная сила, влажность поверхности трения, загрязненность поверхности трения – позволили провести экспериментальные исследования.

Цель статьи – описать экспериментальные исследования коэффициента трения, возникающего при взаимодействии поверхностей тормозной колодки и стенки монорельса во время торможения подвижного состава ШПМД, и привести результаты исследований.

Для проведения экспериментального исследования в лабораторных условиях была спроектирована и изготовлена модель тормозного устройства шахтной подвесной монорельсовой дороги [2], спроектированное тормозное устройство было установлено в универсальную испытательную машину типа ГМС-50 (рис. 1).

В верхних губках 3 (рис. 1) испытательной машины 1 посредством тензометрического датчика Keli PST-A5tB 4 закреплена двутавровая балка 160, выполняющая роль монорельса тормозного

механизма 2. Указанный тензометрический датчик дает возможность фиксировать тормозное усилие, возникающее во время торможения. В нижних губках 6 – кронштейны 5, в которых закреплены тормозные колодки, прижимающиеся к стенке монорельса с помощью рычагов, состоящих из соединенных между собой швеллеров. Для замера усилия, передаваемого тормозным колодкам во время испытаний, между рычагами установлен стрелочный прибор 7, здесь же располагается нагрузочное устройство 8. На противоположной стороне рычагов установлен тензометрический датчик, фиксирующий изменения прижимного усилия во время перемещения тормозных колодок по стенке монорельса. На его внутреннюю поверхность наклеены четыре тензорезистора типа 2ФКПА 10-100Б и соединены между собой по полумостовой схеме таким образом, чтобы в каждом из двух рабочих плеч оказывалась пара тензорезисторов, воспринимающих деформацию растяжения или сжатия от изгиба кольца. Изменения усилий, воспринимаемые тензометрическими датчиками, преобразовываются в электрические сигналы и передаются на устройство аналого-цифрового преобразования – модуль АЦП-ЦАП 16/16 «SigmaUSB» (рис. 2).

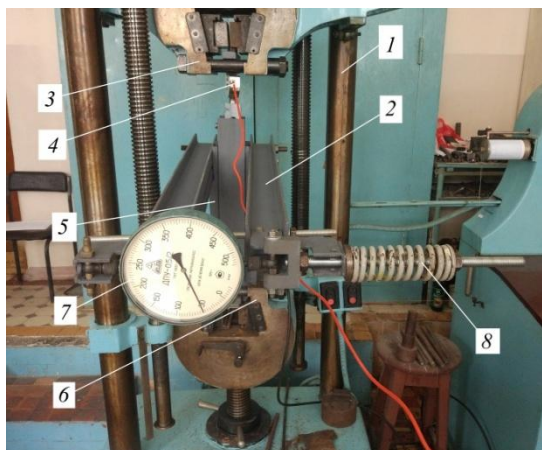


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования коэффициента трения при торможении ШПМД:  
 1 – испытательная машина ГМС-50;  
 2 – модель тормозного механизма;  
 3 – верхние губки; 4 – тензометрический датчик;  
 5 – кронштейн; 6 – нижние губки;  
 7 – стрелочный прибор; 8 – нагрузочное устройство



Рис. 2. Общий вид измерительной аппаратуры:  
 1, 2 – источники постоянного тока «Агат» и «БСП-5»;  
 3 – ноутбук; 4 – прибор АЦП-ЦАП 16/16 «SigmaUSB»

Для обеспечения работы тензометрических датчиков подавалось необходимое электрическое напряжение с помощью источника постоянного тока «Агат» 1 и «БСП-5» 2 (рис. 2). Результаты преобразования получаемых сигналов выводились на экран ноутбука 3, оснащенного специальным программным обеспечением «ZETLab», предназначенным для обработки сигналов, получаемых с прибора АЦП-ЦАП 16/16 «SigmaUSB» 4.

При экспериментальных исследованиях использовались накладки тормозных колодок из многокомпонентного фрикционного материала с армирующими волокнами FER4567. Прижимное усилие задавалось нагрузочным устройством, конструкция которого показана на рис. 3.

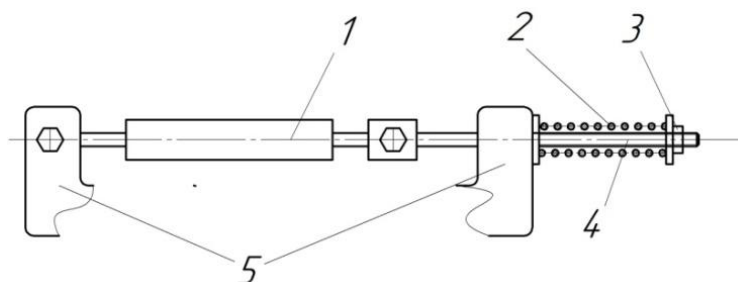


Рис. 3. Схема нагрузочного устройства:  
 1 – стрелочный прибор; 2 – пружина; 3 – гайка; 4 – шток; 5 – рычаги

Стрелочный прибор *1* отображает прижимное усилие, которое задается с помощью гайки *3* на конце пружины *2*, позволяющей гасить возникающие колебания, негативно влияющие на точность показаний при проведении опыта.

Увлажнение поверхности производилось водопроводной водой при помощи пульверизатора. Для моделирования загрязненности поверхности использовалась угольная пыль марки А (ГОСТ 25543-2013), наносимая на стенку двутавровой балки с обеих сторон.

Достоверность экспериментальных результатов обеспечивалась применением сертифицированных средств и аппаратуры измерений, апробированных методик измерения и обработки данных. На рис. 4 приведена схема измерительной системы экспериментальной установки.

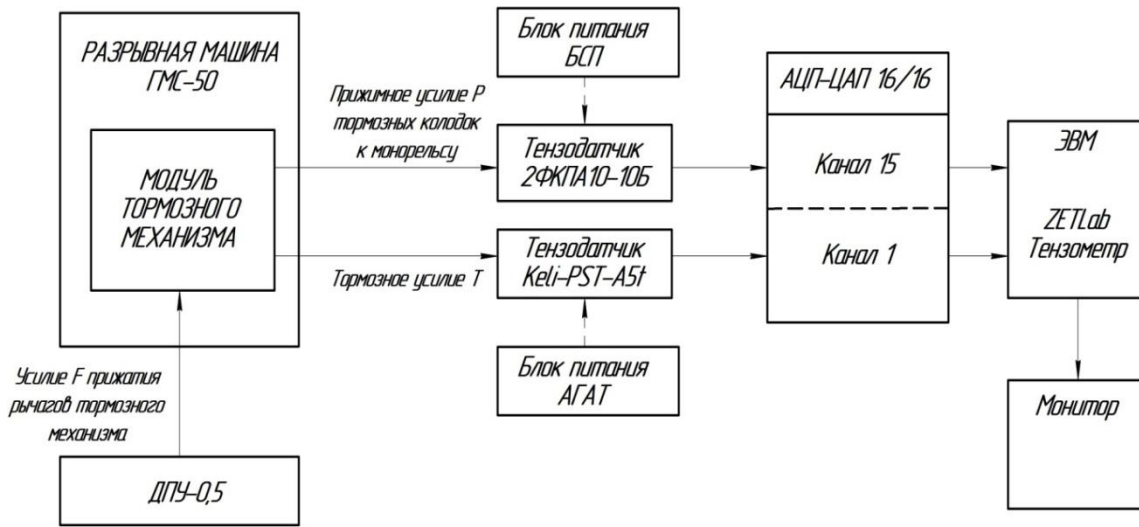


Рис. 4. Схема измерительной системы экспериментальной установки



Рис. 5. Модель эксперимента «черный ящик»: *P* – прижимная сила; *W* – влажность поверхности трения; *Q* – загрязненность поверхности трения; *T* – тормозная сила; *Z* – неучтенные факторы (ошибка)

На рис. 5 приведена модель эксперимента «черный ящик», где указаны входные и выходные факторы экспериментального исследования.

Значения факторов и алгоритм проведения экспериментальных исследований были представлены в работе [1].

На рис. 6 показан один из результатов экспериментальных исследований – пример осциллограммы движения тормозных колодок по монорельсу.

Из осциллограмм на рис. 6 видно, что максимальное тормозное усилие составляет 8,7 кН при усилии прижатия 15,04 кН.

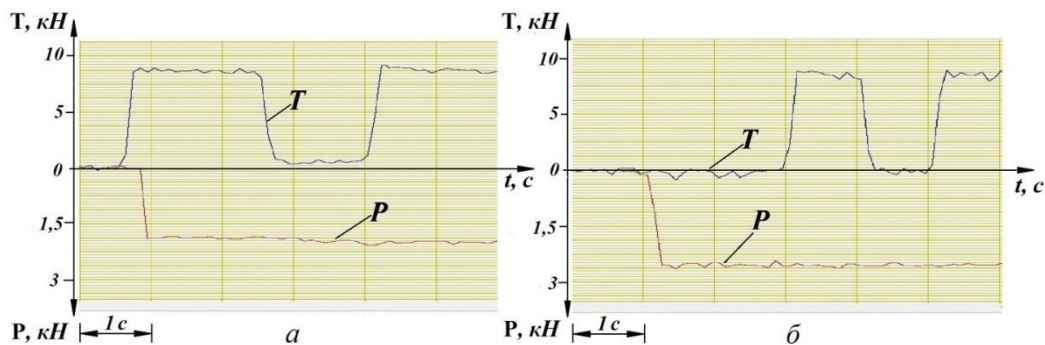


Рис. 6. Осциллограммы изменения усилий *P* и *T* во время движения тормозных колодок по монорельсу с поверхностью без пыли: а – сухая; б – влажная

В таблице показан план эксперимента с возможными сочетаниями значений факторов и результаты эксперимента, при этом каждое сочетание факторов дублировалось три раза.

**Определение тормозной силы  $T$  в трехфакторном эксперименте  $2 \times 2 \times 2$**

$P$	Факторы		Повторение, $T$ , кН			Средние
	$W$	$Q$	$I$	$II$	$III$	
0	0	0	5,201	5,254	5,298	5,251
		1	3,741	3,912	3,794	3,815
	1	0	4,18	3,987	4,324	4,163
		1	2,59	2,624	2,714	2,642
1	0	0	7,952	7,944	7,893	7,929
		1	5,648	5,69	5,708	5,682
	1	0	6,254	6,148	6,098	6,166
		1	3,81	4,254	3,767	3,943

Для дальнейшей работы с результатами эксперимента необходимо провести обработку полученных данных – выполнить дисперсионный анализ трехфакторного опыта с двумя градациями факторов в трех повторениях.

В дальнейших публикациях будут описаны обработка результатов эксперимента и анализ полученных данных, показаны пути и способы использования результатов.

В статье описаны экспериментальная установка, проведение и результаты эксперимента по исследованию коэффициента трения между поверхностью тормозной колодки и стенкой монорельса во время торможения подвижного состава шахтной подвесной монорельсовой дороги. Максимальное тормозное усилие составило 7,9 кН, а минимальное – 2,6 кН.

**Литература**

1. *Игнаткина Е.Л., Костенко А.В.* Особенности планирования экспериментальных исследований коэффициента трения тормозных устройств шахтных подвесных монорельсовых дорог // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Четвертой междунар. науч.-техн. конф (25–26 ноября 2021 г.) / Отв. за вып. О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2022. – С. 89–92.
2. *Игнаткина Е.Л.* Экспериментальные исследования тормозных устройств шахтных подвесных монорельсовых дорог // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2019. – № 2 (16). – С. 27–32.

УДК 629.3.048:656.6

**В.А. Иодис, И.П. Сарайкина, А.А. Македонский**

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

### **АНАЛИЗ СУДОВЫХ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА**

В статье представлен анализ судовых систем кондиционирования воздуха – одноканальной прямой, централизованной и одноканальной рециркуляционной централизованной. Анализ данных систем проводился при использовании для увлажнения воздуха парового и сотового увлажнителей. В работе был произведен технический и экономический анализ характеристик систем с выбором оптимальной системы.

**Ключевые слова:** судовая система кондиционирования воздуха, параметры воздуха, увлажнение паром, сотовый увлажнитель.

**V.A. Iodis, I.P. Saraykina, A.A. Makedonskiy**

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

### **ANALYSIS OF SHIP AIR CONDITIONING SYSTEMS**

The analysis of ship air conditioning systems - single-channel, direct-flow, centralized and single-channel, recirculation, centralized is presented. The analysis of these systems was carried out using steam and cellular humidifiers for air humidification. The technical and economic analysis of system characteristics was made with the choice of the optimal system.

**Key words:** ship air conditioning system, air parameters, steam humidification, cellular humidifier.

Для судовой системы кондиционирования воздуха (ССК) основным требованием является постоянное поддержание заданных параметров микроклимата в судовых помещениях. ССК включает в себя систему подводящих, отводящих, рециркуляционных воздухопроводов и судовой кондиционер (СК). СК состоит из нескольких элементов различного назначения – элементов охлаждения, нагревания, увлажнения, смешивания, очистки.

ССК должна обеспечивать в холодный период года обогрев и увлажнение подаваемого (приточного) в судовые помещения воздуха, в теплый период – подачу в помещения охлажденного и осушенного воздуха.

Применяемые ССК сегодня очень разнообразны и классифицируются по способу обработки и подачи воздуха, по месту его обработки, по способу подачи холодоносителя и т. д. В связи с чем важным является анализ и выбор наиболее технически оптимальной и экономически выгодной системы для того или иного судна [1–4].

Проведем анализ судовых систем кондиционирования воздуха – одноканальной, прямой, централизованной и одноканальной, рециркуляционной, централизованной при использовании для увлажнения воздуха парового и сотового увлажнителей.

В одноканальной прямой, централизованной ССК при использовании парового увлажнителя (сх. № 1) воздух проходит два различных типа обработки – в теплый период года и в холодный (рис. 1). В теплый период воздух, всасываясь вентилятором, охлаждается (рис. 2, а, процесс АВ), осушается в воздухоохладителе кондиционера, подогревается паровым нагревателем (рис. 2, а, процесс ВС) и нагнетается в каюты судна. В холодный период воздух, всасываясь вентилятором, нагревается в паровом нагревателе (рис. 2, б, процесс АВ), увлажняется (рис. 2, б, процесс ВС) в паровом увлажнителе, снова подогревается в паровом нагревателе 2 (рис. 2, б,

процесс  $CD$ ) и нагнетается в судовые помещения. Процессы нагрева происходят при постоянном влагосодержании ( $d = \text{const}$ ), процесс увлажнения при  $t = \text{const}$ , процессы в судовых помещениях – в соответствии с тепловлажностным отношением. Для охлаждения воздуха в воздухоохладителе используется озонобезопасный фреон, при этом в схему холодильной установки включается регенеративный теплообменник.

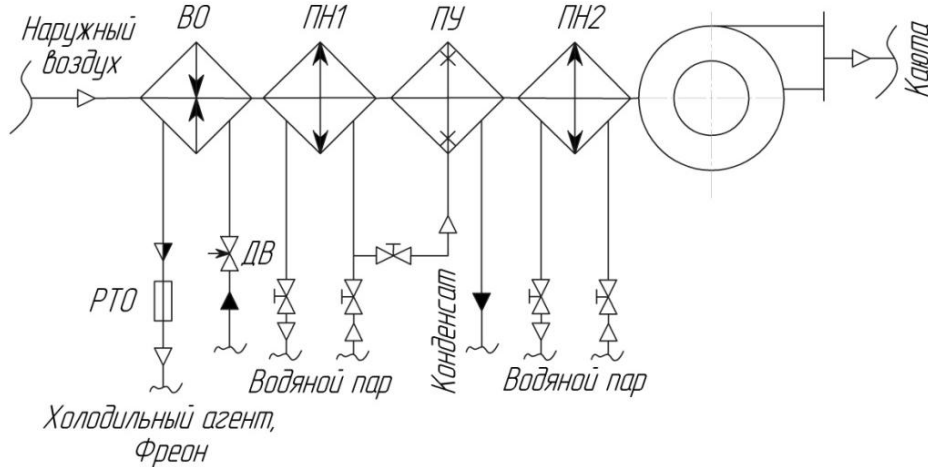


Рис. 1. Схема одноканальной проточной централизованной системы кондиционирования воздуха на судне с паровым увлажнителем:  
 ВО – воздухоохладитель; ПН1, ПН2 – паровые нагреватели; ПУ – паровой увлажнитель;  
 PТО – регенеративный теплообменник; ДВ – дроссельный вентиль

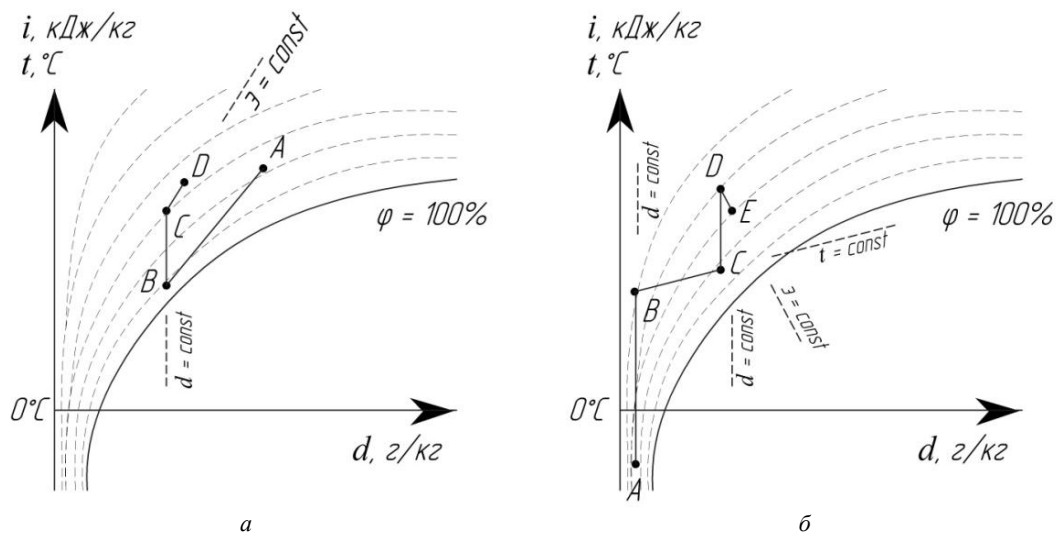


Рис. 2. Схемы процессов обработки воздуха в  $i$ - $d$  диаграмме для одноканальной проточной централизованной системы кондиционирования воздуха на судне с паровым увлажнителем:  
 $i$  – энтальпия;  $t$  – температура;  $d$  – влагосодержание;  $\varphi$  – относительная влажность;  
 $z$  – тепловлажностное отношение

В одноканальной проточной централизованной ССК при использовании сотового увлажнителя (сх. № 2) воздух также проходит два типа обработки для теплого и холодного периодов года (рис. 3). В теплый период увлажнение воздуха не используется, так как воздух уже увлажнен ( $d$  для теплого периода  $> 7$  г/кг воздуха;  $d$  для холодного периода  $< 1$  г/кг воздуха), и процессы в данной схеме ССК аналогичны процессам на рис. 2, а.

В холодный период воздух последовательно проходит паровой нагреватель (процесс АВ, рис. 3, б), сотовый увлажнитель (рис. 3, б, процесс ВС), второй паровой нагреватель (рис. 3, б,

процесс *CD*). В отличие от первой ССК, в данной схеме процесс увлажнения происходит не при постоянной температуре, а при постоянной энтальпии. Сотовый увлажнитель позволяет достичь относительной влажности воздуха 95% при сравнительно небольшом расходе воды через него.

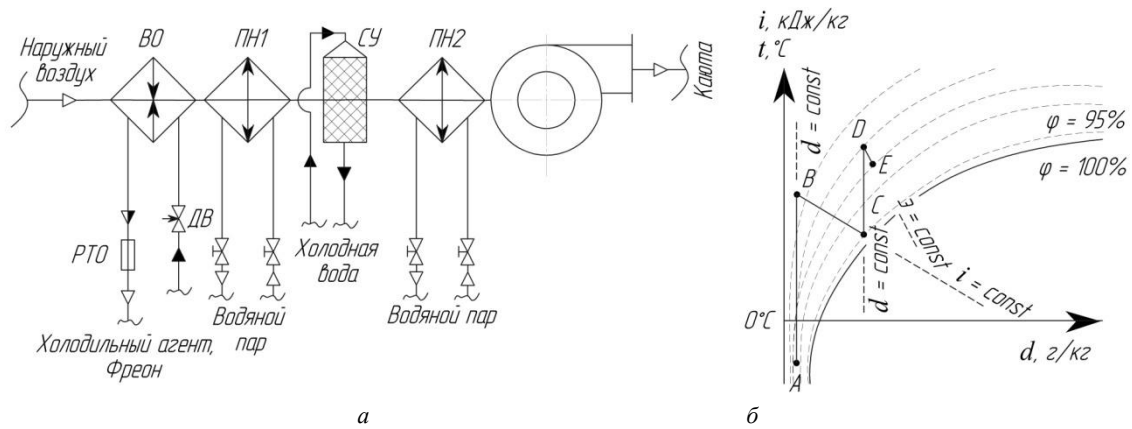


Рис. 3. Схема одноканальной прямоточной централизованной системы кондиционирования воздуха на судне с сотовым увлажнителем: а – схема ССК; б – схема процессов обработки воздуха в *i-d* диаграмме для данной ССК; СУ – сотовый увлажнитель

В одноканальной рециркуляционной централизованной ССК при использовании для увлажнения воздуха парового и сотового увлажнителей используется как забор наружного воздуха, так и забор воздуха из судовых помещений (рециркуляционного). Смесь наружного и рециркуляционного воздуха дает возможность снизить нагрузку на воздухоохладитель, увлажнитель и второй нагреватель СК.

В одноканальной рециркуляционной централизованной ССК при использовании парового увлажнителя (сх. № 3) наружный воздух в теплый период года перед охлаждением и осушением в воздухоохладителе (рис. 4; рис. 5, а, процесс *BC*) смешивается с рециркуляционным воздухом из помещения (рис. 5, а, процесс *AB – EB*). Далее (как и в рассмотренных ССК) воздух подогревается и подается в каюты (рис. 5, а, процесс *CD*). В холодный период воздух, нагреваясь (рис. 5, а, процесс *AB*), смешиваясь с рециркуляционным (рис. 5, а, процесс *BC – FC*), увлажняясь в паровом увлажнителе (рис. 5, а, процесс *CD*), нагреваясь в паровом нагревателе (рис. 5, а, процесс *DE*), направляется в каюты (рис. 5, а).

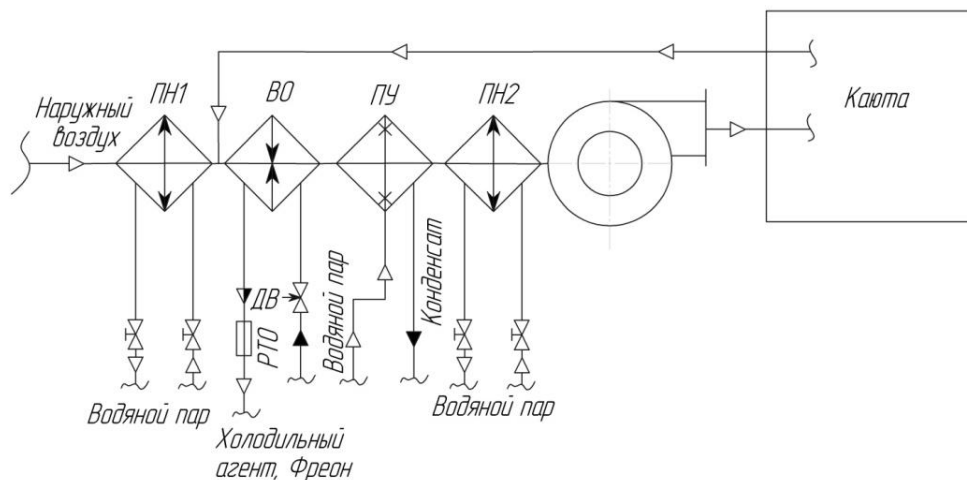


Рис. 4. Схема одноканальной рециркуляционной централизованной системы кондиционирования воздуха на судне с паровым увлажнителем



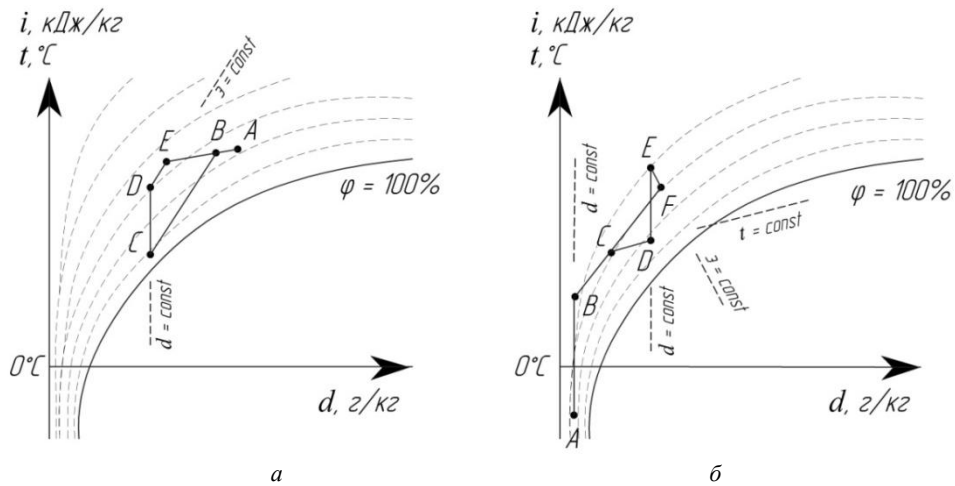


Рис. 5. Схемы процессов обработки воздуха в  $i$ - $d$  диаграмме для одноканальной рециркуляционной централизованной системы кондиционирования воздуха на судне с паровым увлажнителем

Для теплого периода года процессы обработки воздуха в одноканальной рециркуляционной централизованной ССК при использовании сотового увлажнителя (рис. б) аналогичны процессам на рис. 5, а. В холодный же период наружный воздух, нагреваясь и смешиваясь с рециркуляционным воздухом, увлажняется в сотовом увлажнителе с постоянной энтальпией (аналогично рис. 3, б).

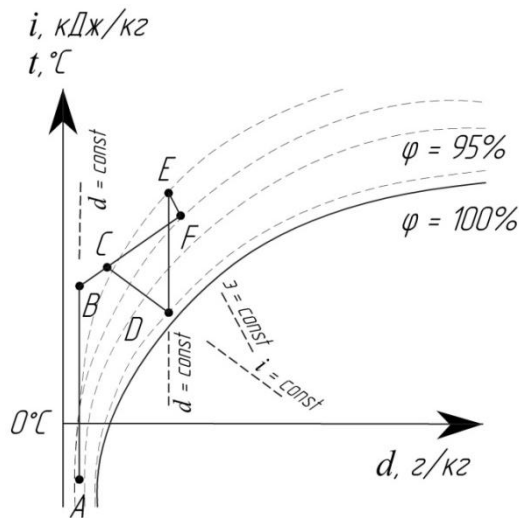


Рис. 6. Схемы процессов обработки воздуха в  $i$ - $d$  диаграмме для одноканальной рециркуляционной централизованной системы кондиционирования воздуха на судне с сотовым увлажнителем

Окончательно ССК выбирается на основании данных анализа, результаты которого представлены в таблице.

#### Основные характеристики ССК

Характеристики	(Сх. № 1)	(Сх. № 2)	(Сх. № 3)	(Сх. № 4)
Объемный расход воздуха				
– наружного, %	100	100	30	30
– рециркуляционного, %			70	70
Нагрузка на ВО, кВт	16	16	11	11
Нагрузка на ПН1, кВт	24	38	19	27
Нагрузка на ПН2, кВт	8	14	8	12
Расход пара для увлажнения, кг/с	0,01	0	0,005	0
Расход воды для сотового увлажнения, кг/ч	0	12	0	11

Технический и экономический анализ показал, что:

1. Достоинством одноканальных прямоточных централизованных ССК является меньшая металлоемкость, меньшая протяженность воздухопроводов. Недостатками (при сравнении со сх. № 3 – сх. № 4) – большие тепловые нагрузки на оборудование СК.

2. К преимуществам одноканальных прямоточных централизованных ССК и одноканальных рециркуляционных централизованных ССК с использованием парового увлажнителя относятся меньшие, в сравнении с использованием сотового увлажнителя, тепловые нагрузки на оба паровых нагревателя.

3. Наиболее оптимальной ССК является одноканальная рециркуляционная централизованная ССК с использованием парового увлажнителя как менее энергозатратная, металлоемкая и простая в эксплуатации.

### Литература

1. *Селиверстов В.М.* Расчёты судовых систем кондиционирования воздуха. – Л.: Судостроение, 1971. – 231 с.

2. *Захаров Ю.В.* Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильных машин. – Л.: Судостроение, 1979. – 487 с.

3. *Балыкова Л.И., Иодис В.А., Скороходов 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.– Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. – С. 26–29.

4. *Иодис В.А., Алтухов А.А., Сарайкина И.П.* Обзор централизованных систем комфортного кондиционирования воздуха на судах / Отв. за выпуск О.А. Белов // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Третьей междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2021. – С. 87–89.

УДК 664.8.04

**А.П. Лебедева<sup>1</sup>, Е.А. Степанова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,  
Санкт-Петербург, 198035  
e-mail: otd\_o@gumrf.ru;*

<sup>2</sup> *Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: len\_sta@rambler.ru*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ**

Статья посвящена описанию техники, методики и анализу результатов исследования теплофизических характеристик ряда материалов как потенциальных сорбентов. Критериями предварительного отбора были: дисперсность, возможность повторного использования, низкая стоимость и доступность, возможность последующего отделения от объекта сушки.

**Ключевые слова:** контактно-сорбционная сушка, сорбенты, теплофизические характеристики.

**A.P. Lebedeva<sup>1</sup>, E.A. Stepanova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *State University of Marine and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov,  
St. Petersburg, 198035  
e-mail: otd\_o@gumrf.ru;*

<sup>2</sup> *Kamchatsky State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: len\_sta@rambler.ru*

### **RESEARCH AND ANALYSIS OF SOME MATERIALS PROPERTIES AS POTENTIAL SORBENTS**

The description of the technique, methodology and analysis of study results of the thermophysical characteristics of a number of materials as potential sorbents was presented. The criteria for pre-selection were: dispersion, reusability, low cost and availability, the possibility of subsequent separation from the drying object.

**Key words:** contact-sorption drying, sorbents, thermophysical characteristics.

Возможность использования для сушки различных материалов контактно-сорбционным методом была известна давно. Однако широкое применение этот метод пока не нашел. Главной причиной тому является сложность в выборе сорбента. Поэтому были изучены свойства ряда материалов, которые можно было бы, на наш взгляд, использовать в качестве сорбентов.

Критериями предварительного отбора материалов были:

- дисперсность материала;
- возможность повторного использования;
- низкая стоимость;
- доступность;
- безвредность по отношению к пищевым продуктам;
- возможность при необходимости последующего отделения от объекта сушки.

На основании вышеизложенного были отобраны следующие материалы: целое и дробленое зерно пшеницы, манная крупа, лузга подсолнечная, картофельная мука [1], кварцевый песок и  $Al_2O_3$ .

Контактно-сорбционная сушка – сложный тепло- и массообменный процесс, в течение которого изменяются свойства, структура и качество двух компонентов: сырья и сорбента.

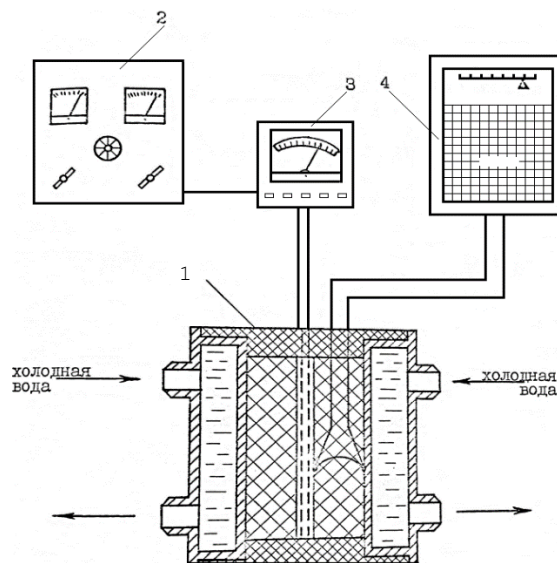
Для определения скорости нагрева сырья, расчета процесса сушки используются теплофизические характеристики как самого продукта, так и контактирующего с ним тела (сорбента). Указанные характеристики являются кинетическими коэффициентами в известном линейном уравнении термодинамики необратимых процессов.

Целью работы было исследование теплофизических характеристик некоторых материалов как потенциальных сорбентов и их сравнительный анализ.

Учитывая специфику исследуемых продуктов, был использован метод комплексного определения теплофизических характеристик в регулярном режиме (метод бикалориметра [2]).

*Методика экспериментов.* Наличие в теле источника постоянной мощности при теплообмене со средой постоянной температуры позволяет определить значения  $\lambda$ ,  $a$  и  $c$  из одного эксперимента.

Принципиальная схема стенда для комплексного определения теплофизических характеристик при комнатных температурах изображена на приведенном ниже рисунке.



*Принципиальная схема стенда для комплексного определения теплофизических характеристик:  
1 – плоский бикалориметр; 2 – источник стабилизированного питания; 3 – ваттметр; 4 – регистрирующий узел*

Основными элементами стенда являются: плоский бикалориметр, источник стабилизированного питания, ваттметр и регулирующий прибор – самопишущий потенциометр типа КСП-4. В качестве датчиков температур использовались хромель-копелевые термоэлектрические преобразователи.

Исследуемый материал в виде двух плоско-параллельных дисков равной толщины с диаметром, равным диаметру плоского нагревателя бикалориметра, помещался в пространство между наружной поверхностью нагревателя и внутренней поверхностью цилиндра. Соотношение между линейными размерами удовлетворяло предельному условию:

$$k = \frac{h}{R} \leq \frac{1}{4}, \quad (1)$$

где  $h$  – толщина одной пластинки, мм;  
 $R$  – половина ее стороны или радиус, мм.

После заполнения указанной плоскости исследуемым материалом включали подвод воды и начинали охлаждение, результатом которого являлось выравнивание температуры в объеме материала.

После выравнивания температуры в объеме образца по показаниям регистрирующего прибора включали нагреватель. Величина мощности, подводимая к нагревателю, определялась по показанию ваттметра.

При выключении нагревателя избыточная температура начинала расти, достигая максимума в стационарном состоянии. По кривой измерения разности температур во времени определяли  $\lambda$ ,  $a$  и  $c$ .

Для исключения случайных погрешностей каждый опыт повторяли пять раз.

Относительная погрешность измерения измерительно-регистрирующего узла стенда комплексного определения теплофизических характеристик наименьшего значения разности температур составляет:

$$\delta = \frac{x}{\Delta y_{\min}} \cdot 100, \quad (2)$$

где  $x$  – цена деления прибора;

$\Delta y_{\min}$  – наименьшее значение измеряемой величины.

$$\delta_t = \frac{0,005}{5,0} \cdot 100 = 1\%. \quad (3)$$

А относительная погрешность наименьшего значения электрической мощности, подаваемой на нагреватель зонда:

$$\delta_w = \frac{0,01}{20,0} \cdot 100 = 0,5\%. \quad (4)$$

Погрешность измерения стенда можно определить по формуле [3]:

$$\delta_{\text{ТФХ}} = \sqrt{\delta_t^2 + \delta_w^2}, \quad (5)$$

где  $\delta_t$  – погрешность измерения разности температур, %;

$\delta_w$  – погрешность измерения мощности, %.

$$\delta_{\text{ТФХ}} = \sqrt{0,5^2 + 1,0^2} = 1,12\%. \quad (6)$$

Поэтому погрешностью измерения стенда комплексного определения теплофизических характеристик можно пренебречь.

*Результаты эксперимента и их анализ.* Коэффициент теплопроводности:

$$\lambda = \frac{q \cdot R_1}{\Delta T} \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (r_2 > r_1), \quad (7)$$

где  $R_1$  – внутренний радиус полого цилиндра;

$\Delta T = (r_1; \infty) - T(r_2; \infty)$ , которая с учетом положения спаев дифференциального термоэлектрического преобразователя и значения величины удельного теплового потока может быть записана так:

$$\lambda = \frac{W}{2\pi h \Delta T_{\text{ст}}} \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (8)$$

где  $W$  – мощность, подводимая к нагревателю;

$\Delta T_{\text{ст}}$  – разность температур в точках  $x_1 - x_2 = k$  пластины в стационарном состоянии.

Коэффициент температуропроводности рассчитывается по формуле:

$$a = \frac{R^2}{\mu_1^2} \cdot m. \quad (9)$$

Значение первого корня определяется характеристическим уравнением

$$J_1(\mu \cdot k) Y_0(\mu) - Y_1(\mu \cdot k) J_0(\mu). \quad (10)$$

Для нашего случая при  $k = \frac{R_1}{R_2} = 0,7272$ ,  $\mu_1 = 6,193$ .

Следовательно, выражение (9) можно записать в виде:

$$a = \frac{R^2}{\mu_1^2} \cdot \frac{\ln(\Delta T_{\text{ст}} - \Delta T_1) - \ln(\Delta T_{\text{ст}} - \Delta T_2)}{\tau_2 - \tau_1} = \frac{R^2}{6,193^2} \cdot \frac{\ln(\Delta T_{\text{ст}} - \Delta T_1) - \ln(\Delta T_{\text{ст}} - \Delta T_2)}{\tau_2 - \tau_1}. \quad (11)$$

Вместо построения графика функции  $\ln(\Delta T_{\text{ст}} - \Delta T_i) = f(\tau)$  для расчета была использована формула (11). Начало отсчета принималось с момента, когда текущая температура составляла приблизительно  $(0,25 \div 0,3)\Delta T_{\text{ст}}$ , т. е. когда наступал регулярный режим.

Определив  $\lambda$  и  $a$ , находили удельную теплоемкость исследуемого материала по формуле:

$$c = \frac{\lambda}{a \cdot \rho}. \quad (12)$$

В качестве сорбентов использовались следующие материалы:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (влажность 10%,  $\rho = 858,457 \text{ кг/м}^3$ ); песок кварцевый (влажность 7%,  $\rho = 1814,588 \text{ кг/м}^3$ ); манная крупа (влажность 16%,  $\rho = 866,975 \text{ кг/м}^3$ ); лузга подсолнечная (влажность 18%,  $\rho = 159,297 \text{ кг/м}^3$ ); дробленое зерно пшеницы (влажность 14%,  $\rho = 861,642 \text{ кг/м}^3$ ); картофельная мука (влажность 10%,  $\rho = 754,454 \text{ кг/м}^3$ ).

Опыты проводились при температуре  $22^\circ\text{C}$ .

Результаты экспериментов приведены в таблице.

**Теплофизические характеристики исследуемых материалов**

№	Материал	$\lambda$ , Вт/м К	$a \cdot 10^{-8}$ , м <sup>2</sup> /с	$c$ , Дж/кг К	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
1	Отруби пшеничные	0,2744	9,2903	1445,847	214,58
2	Дробленое зерно пшеницы	0,4829	11,3968	4973,257	861,64
3	$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,4836	12,1969	4653,733	858,45
4	Манная крупа	0,4965	13,5577	4245,367	866,98
5	Лузга подсолнечная	0,2944	8,0963	2299,611	159,29
6	Песок кварцевый	1,0101	25,3337	2271,195	1814,60
7	Картофельная мука	0,1613	14,1400	1512,000	754,46

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы.

Для контактно-сорбционной сушки пищевых продуктов лучше использовать «пищевые» сорбенты, т. е. вещества, непосредственный контакт с которыми не оказывает какого-либо влияния на качество конечного продукта, не ухудшает его пищевой ценности.

Таковыми продуктами являются отруби пшеничные, манная крупа, лузга подсолнечная, дробленое зерно пшеницы и картофельная мука.

Лучшими теплофизическими характеристиками (показателями) обладают манная крупа и дробленое зерно пшеницы.

Однако так как манная крупа обладает также сильными адгезионными свойствами, для применения в качестве сорбента-теплоносителя при контактно-сорбционной сушке предпочтение отдано дробленому зерну пшеницы ( $\lambda = 0,483 \text{ Вт/м К}$ ;  $a \times 10^{-8} = 11,397 \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $c = 4973,3 \text{ Дж/кг К}$ ).

## Литература

1. А. с. 1650065 (СССР). Способ получения пищевой картофельной муки / Авт. изобрет. И.И. Паромчик и др. – Опул. в Б.И., 1991. – № 19.
2. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
3. Основы теории инженерного эксперимента / Н.П. Коновалов и др. / Под общ. ред. Н.П. Коновалова. – Иркутск: Изд-во Иркутского гос. технического ун-та, 2014. – 300 с.

УДК 621.438

Д.А. Михайлов<sup>1</sup>, Н.С. Пичко<sup>2</sup>, А.Н. Михайлов<sup>3</sup>, А.В. Костенко<sup>4</sup>, Е.А. Шейко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Донецкая академия гражданской защиты МЧС ДНР,  
Донецк, 283050;

<sup>2</sup> Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета,  
Усинск, Республика Коми, 169710;

<sup>3</sup> Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 283001;

<sup>4</sup> Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: mntk21@mail.ru

## СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ГТУ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА

В представленной работе рассмотрены вопросы структурного анализа газотурбинных установок и их структурных схем. Выполнены исследования эксплуатационных особенностей ГТУ и групп лопаток компрессора. Приведены схемы неравномерного износа поверхностей пера групп лопаток компрессора. При этом установлено, что износ лопаток компрессора обусловлен действием неравномерных эксплуатационных воздействий и возникающих при этом неравномерностей износа лопаток трех родов.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка, структура, износ неравномерности, лопатки компрессора, группы лопаток.

D.A. Mikhailov<sup>1</sup>, N.S. Pichko<sup>2</sup>, A.N. Mikhailov<sup>3</sup>, A.V. Kostenko<sup>4</sup>, E.A. Sheiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Donetsk Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the DPR,  
Donetsk, 283050;

<sup>2</sup> Usinsk branch of Ukhta State Technical University,  
Usinsk, Komi Republic, 169710;

<sup>3</sup> Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 283001

<sup>4</sup> Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: mntk21@mail.ru

## STRUCTURAL ANALYSIS OF OIL AND GAS INDUSTRY GTU AND RESEARCH OF COMPRESSOR BLADES OPERATION FEATURES

The issues of structural analysis of gas turbine units and their block diagrams are considered. Studies of the operational features of GTU and groups of compressor blades have been carried out. Schemes of uneven wear of the blade surfaces of compressor blades groups are given. It was found that the wear of the compressor blades is due to the action of uneven operational influences and the resulting uneven wear of the blades of three kinds.

**Key words:** gas turbine unit, structure, uneven wear, compressor blades, groups of blades.

Техническое перевооружение нефтегазодобывающей промышленности базируется на применении современных технологий и оборудования [1], использовании инновационных материалов и реагентов, реализации требуемого количества материальных, энергетических и информационных потоков технологического обеспечения. В этом случае особое значение занимает технологическое оборудование нефтегазовой отрасли.

Можно отметить, что в настоящее время в качестве технологического оборудования широко используются газотурбинные установки (ГТУ), которые имеют высокие технико-экономические

показатели и используются в решении различных технологических задач в нефтегазодобывающей промышленности.

Можно отметить, что ГТУ относятся к сложным технологическим системам, имеющим множество деталей, узлов и подсистем структурных ее составляющих. При этом процесс эксплуатации отдельных элементов, узлов и подсистем этой установки имеет определенные особенности. Поэтому эти вопросы будут затронуты в данной работе.

Целью данной работы является анализ структуры и особенностей эксплуатации ГТУ для установления параметров износа лопаток компрессора и определения его закономерностей для отдельных деталей, групп и подсистем.

В соответствии с поставленной целью в работе планируется решение следующих вопросов: выполнить анализ структурных вариантов ГТУ; исследовать особенности эксплуатации лопаток компрессора; выполнить классификацию структуры лопаток компрессора и исследовать особенности их износа.

Можно отметить, что в настоящее время создаваемые ГТУ имеют множество вариантов схем компоновки, кроме того для них в ряде случаев используются авиационные газотурбинные двигатели. Поэтому в целом ГТУ по способу отбора мощности имеют следующие варианты структурных схем расположения подсистем:

- одновальные ГТУ с выводом вала назад (рис. 1, а) и выводом вала вперед (рис. 1, б);
- ГТУ со свободной турбиной с выводом вала отбора мощности назад (рис. 1, в) и вперед (рис. 1, г);
- ГТУ со свободной турбиной и двухвальным турбокомпрессором с выходом вала назад (рис. 1, д) и вперед (рис. 1, е).

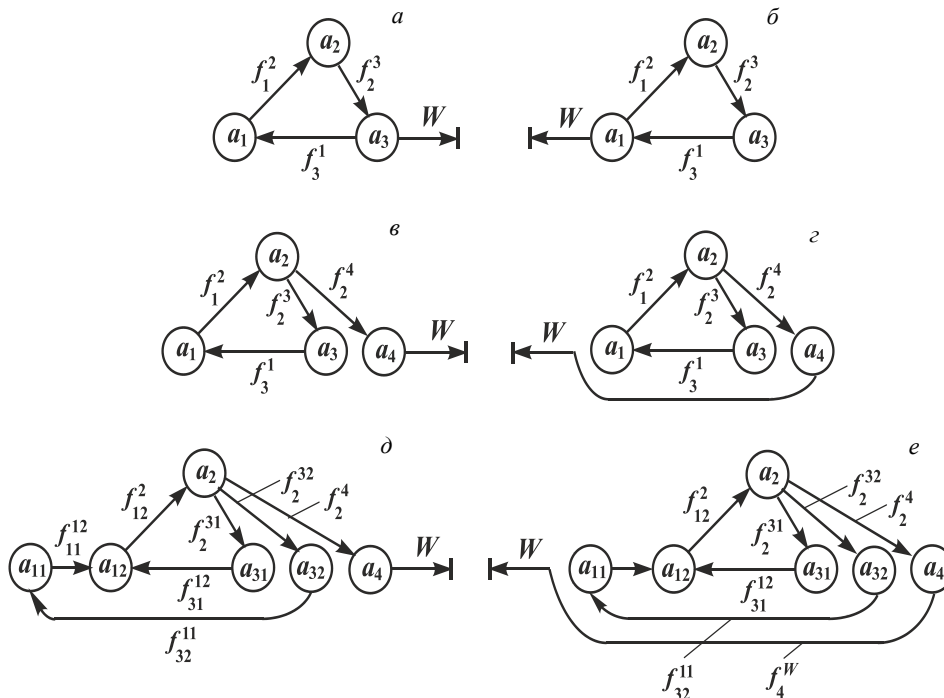


Рис. 1. Структурные схемы ГТУ: а – одновальная с выводом вала назад; б – одновальная с выводом вала вперед; в – со свободной турбиной с выводом вала назад; г – со свободной турбиной с выводом вала вперед; д – со свободной турбиной и двухвальным турбокомпрессором с выходом вала назад; е – со свободной турбиной и двухвальным турбокомпрессором с выходом вала вперед;  $a_i$  – структурные элементы ГТД,  $f_j$  – связи между структурными элементами ГТД,  $W$  – направление выхода выходного вала

Анализ структурных схем ГТУ показал, что они относятся к сложным системам, состоящим из целого комплекса подсистем, узлов и элементов, к которым можно отнести следующие [2–4]: входное устройство; компрессор; камера сгорания; силовой корпус, связывающий турбину и компрессор; турбина компрессора, свободная турбина; система выхлопа; корпус приводов агрегатов; топливная, масляная и другие системы и агрегаты.



Можно отметить, что в приведенной структуре подсистем ГТУ наиболее важной составляющей является компрессор [2, 4]. Компрессоры ГТУ со свободной турбиной выполняются с различными модификациями, а именно осевые, осецентробежные и центробежные. Степень повышения давления для обычных компрессоров ГТУ составляет 7–8 раз и 20–25 раз для более мощных. При этом коэффициент полезного действия (КПД) компрессора ГТУ достигает значений  $\eta = 0,78–0,86$  и зависит от типа компрессора, степени повышения давления и расхода воздуха.

Осевой компрессор ГТУ [3] содержит следующие структурные элементы: наружная оболочка двигателя; корпус компрессора; статорные лопатки различного назначения; роторные лопатки; диски; лабиринтные уплотнения и другие элементы.

Также следует отметить, что в указанной выше структуре компрессора особое значение занимают лопатки компрессора. Лопатки компрессора – это очень сложные и дорогостоящие элементы ГТУ, от которых зависит работа всей установки. Можно отметить, что лопатки компрессора ГТУ имеют следующие особенности: сложную пространственную форму, пространственное расположение на дисках, различные геометрические параметры по ступеням, различные условия эксплуатации по ступеням компрессора, кинематические особенности движения относительно воздушно-пылевого потока в проточной части компрессора.

В ГТУ для обеспечения заданных эксплуатационных параметров лопатки в компрессоре объединены в определенные группы. При этом заметим, что в компрессоре по его проточной части при движении пылевоздушного потока происходят изменения следующих параметров: концентрации пыле-абразивных частиц, температурных характеристик, скоростных параметров и степени давления. Можно также отметить, что на работу компрессора оказывают влияние поворотные лопатки направляющего аппарата, которые обеспечивают заданные параметры работы ГТУ.

Заметим, что осевой компрессор ГТУ содержит следующие группы лопаток, а именно:

- поворотные лопатки входного направляющего аппарата (статор);
- поворотные лопатки направляющего аппарата (статор);
- лопатки направляющего аппарата (статор);
- лопатки спрямляющего аппарата (статор);
- рабочие лопатки (ротор).

Отметим, что приведенные группы лопаток имеют заданную пространственную структуру, определенные геометрические параметры и определенные особенности расположения по тракту компрессора. Все это приводит к возникновению неравномерного износа лопаток компрессора, который можно характеризовать следующими особенностями:

- неравномерным износом рабочей поверхности пера лопатки (рис. 2)
- неравномерным износом лопаток в группе (рис. 3);
- неравномерным износом групп лопаток относительно друг друга.

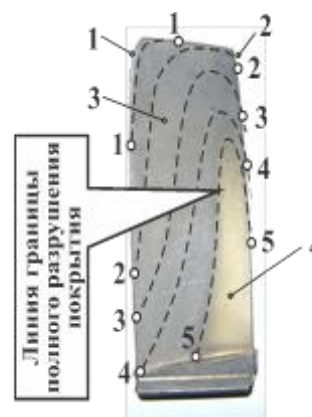


Рис. 2. Схема неравномерного износа поверхности (неравномерность 1-го рода) пера лопатки компрессора

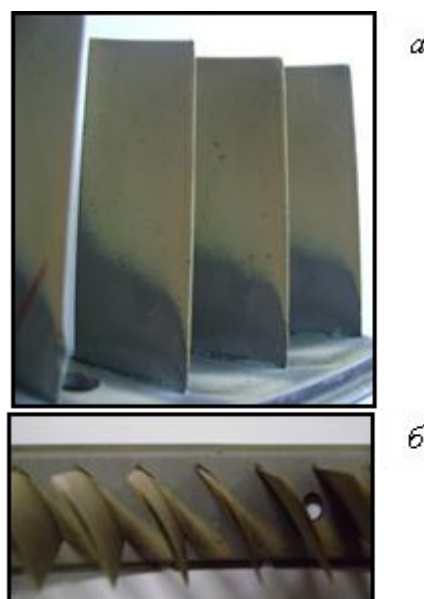


Рис. 3. Особенности износа лопаток направляющего аппарата: а – со стороны корыта; б – вид с торца на бандаже

Можно отметить, что процесс действия эксплуатационных воздействий потоков среды и возникающих при этом разрушений лопаток компрессора ГТУ имеет определенные особенности. Этот процесс обусловлен неравномерными действиями эксплуатационных воздействий на элементы лопатки, на лопатки группы и лопатки, входящие в различные виды групп. Эти особенности неравномерных эксплуатационных воздействий можно характеризовать следующими неравномерностями (рис. 4):

- неравномерность 1-го рода, возникающая по поверхности пера лопатки;
- неравномерность 2-го рода, возникающая в конкретной группе лопаток компрессора, изменяющаяся по номерам ступеней группы;
- неравномерность 3-го рода, возникающая между группами лопаток.



Рис. 4. Виды групп лопаток осевого компрессора ГТУ и особенности их разрушений

Следует отметить, что эти неравномерности приводят к неравномерным разрушениям лопаток компрессора. Эти неравномерности также усложняют процесс применения технологических методов повышения ресурса эксплуатации лопаток компрессора. Вместе с тем, для повышения ресурса лопаток компрессора необходимо рассматривать особенности их разрушения в едином комплексе, и из этих условий обеспечивать свойства лопаток комплексно для всего компрессора [5].

Выполненный анализ видов разрушения лопаток компрессора ГТУ позволил установить, что при обеспечении свойств лопаток необходимо учитывать следующие особенности (рис. 4):

- неравномерные воздействия и разрушения лопатки в пределах каждой ступени в одноименном виде групп лопаток;
- неравномерные воздействия и разрушения элементов лопатки в зависимости от номера ступени в одноименном виде групп лопаток;

– неравномерные воздействия и разрушения элементов лопатки в зависимости от вида групп лопаток.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить следующее:

1. ГТУ имеет сложную структуру и состоит из множества элементов (лопаток), узлов и подсистем. Эти элементы структурированы в ступени лопаток, группы ступеней и подсистемы.

2. В процессе эксплуатации ГТУ на структурные элементы, в каждой группе лопаток, между группами ступеней лопаток, между узлами и ступенями действуют изменяющиеся по этим элементам эксплуатационные воздействия (эрозионные, коррозионные, химические, физические, механические и комбинированные). Неравномерность действия эксплуатационных воздействий на структурные элементы ГТУ можно оценивать неравномерностями трех родов.

3. Существующие традиционные методы повышения ресурса ГТУ не обеспечивают дальнейшее повышение ресурса в условиях действия эксплуатационных неравномерностей трех родов.

### Литература

1. *Корж В.В. Сальников. А.В.* Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций: Учеб. пособ. – Ухта: УГТУ, 2010. – 184 с.

2. *Михайлов В.А.* Совершенствование структурного и технологического обеспечения изготовления лопаток компрессора вертолетных газотурбинных двигателей на основе связанных технологий: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – 18 с.

3. Методика направленного поиска рациональных структурных вариантов процессов обработки лопаток ГТУ с учетом технологических связей / *А.Н. Михайлов, А.П. Пичко, Д.А. Михайлов* и др. // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XXVI Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. 23–29 сентября 2019 г. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 311–317.

4. Особенности обеспечения свойств лопаток компрессора и турбины газотурбинной установки на базе функционально-ориентированных покрытий и равенства их ресурсов / *А.П. Пичко, Д.А. Михайлов, Е.А. Шейко* и др. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Междунар. сб. науч. трудов. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – Вып. 1 (64). – С. 68–76.

5. Патент № 2718877 RU. С23С 14/04 Способ нанесения функционально-ориентированного износостойкого покрытия на лопатку газотурбинного двигателя / *А.Н. Михайлов, Д.А. Михайлов, В.А. Михайлов, Е.А. Шейко, А.П. Пичко, Н.С. Пичко, В.И. Сухарев.* – Заявка № 2018107164 от 26.02.2018. – Бюл. № 11, 15.04.2020. – 7 с.

УДК (621.1+629.5):504.6

**А.Н. Рак<sup>1</sup>, В.О. Гутаревич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: lion15ua@rambler.ru;*

<sup>2</sup> *Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 830000*

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОКРАЩЕНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> И CO<sub>x</sub> С МОРСКИХ СУДОВ**

Во всем мире в судоходной отрасли уделяется большое внимание не только качественному составу топлива, но и выбросам выхлопных газов. В настоящее время качественный состав выхлопных газов регламентируется Приложением VI конвенции МАРПОЛ 73/78 Международной морской организации (ИМО), ратифицированным многими ее подписантами, а поэтому все двигатели должны соответствовать всем ее нормам и требованиям по выбросам. В работе рассмотрены вопросы, связанные с исследованием эффективных способов снижения выбросов NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> и CO<sub>2</sub>. Показано, что в среднесрочной перспективе в связи с ужесточением экологических требований в ближайшее время произойдет переход на газообразные виды топлива, что позволит с незначительными конструктивными изменениями повысить мощность существующих главных двигателей и сократить выбросы окислов азота и парниковых газов.

**Ключевые слова:** главные двигатели, селективный каталитический редуктор, скруббер, гребная электрическая установка, аккумуляторная система, топливо, система непрерывного мониторинга выбросов.

**A.N. Rak<sup>1</sup>, V.O. Gutarevich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: lion15ua@rambler.ru;*

<sup>2</sup> *Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 830000*

## **ANALYSIS OF EFFECTIVE SYSTEMS TO REDUCE NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> AND CO<sub>x</sub> EMISSIONS FROM SHIPS**

All over the world the shipping industry pays great attention not only to the quality of fuel composition, but also to the emissions of exhaust gases. At present, the quality composition of exhaust gases is governed by Annex VI of the International Maritime Organization (IMO) MARPOL – 73/78 Convention, ratified by many of its signatories, and therefore all engines must comply with all of its emission standards and requirements. The issues involved in investigating effective ways of reducing NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and CO<sub>x</sub> emissions were described. It is shown that in the medium term, due to stricter environmental requirements, a transition to gaseous fuels will take place in the nearest future. It will allow to increase the capacity of existing main engines and reduce emissions of nitrogen oxides and greenhouse gases with minor design changes.

**Key words:** main engines, selective catalytic reducer, scrubber, electric propulsion system, battery system, fuel, continuous emission monitoring system.

Во всем мире внимание к топливу, как правило, возрастает из-за повышенного внимания к выбросам выхлопных газов. В настоящее время Приложение VI ИМО ратифицировано многими подписантами конвенции МАРПОЛ 73/78. Следовательно, нормы по допустимым уровням выбросов NO<sub>x</sub> и SO<sub>x</sub> должны соответствовать данной конвенции [1–3]. Ограничения на выбросы должны соотноситься с современными технологиями и способностями рынка адаптироваться к таким ограничениям.

До недавнего времени основное внимание экологических служб в основном было сосредоточено на NO<sub>x</sub> и SO<sub>x</sub>, но сейчас больше внимания будет уделяться компонентам выхлопных газов, таким как НС, твердые частицы, СО и СО<sub>2</sub>.

Целью работы является исследование современных технических решений, позволяющих разрабатывать рациональные схемы современных судов, их пропульсивных установок с учетом их соответствия экологическим требованиям.

В данной работе использовались расчетные соотношения, приведенные в открытых источниках и соответствующие требованиям Международной морской организации (ИМО), учитывался опыт и рекомендации ведущих зарубежных фирм и отечественных предприятий – производителей судового механического и электромеханического оборудования, их новейшие и перспективные разработки.

По состоянию на 2011 г. существующие зоны контроля выбросов  $\text{NO}_x$  с судов (Emission Control Area (ECA)) и зоны контроля выбросов  $\text{SO}_x$  (Sulphur Emission Control Area (SECA)) закреплены в Приложении VI к конвенции МАРПОЛ 73/78 [2, 3]. Расширение зон экологического мониторинга морского транспорта и принятие мер по снижению антропогенного воздействия на окружающую среду требуют от судовладельцев выработать стратегию по данному вопросу для соответствия флота как действующим, так и перспективным нормам международных конвенций.

Как отмечалось выше, важными экологическими показателями являются нормы выбросов  $\text{NO}_x$  с морских судов, представленные в [2, 3] и на рис. 1.

Как следует из рис. 1, количество выбросов  $\text{NO}_x$  снижается при частотах вращения в диапазоне 350–2500 об/мин (данный диапазон является характерным для средне- (СОД) и высокооборотных (ВОД) ГД, что является весомым аргументом для перехода на гребные электрические установки (ГЭУ) [4].

На рис. 2 представлен типовой расход основных компонентов топливной смеси для ГД, а на рис. 3 – основные способы снижения выбросов  $\text{NO}_x$ .

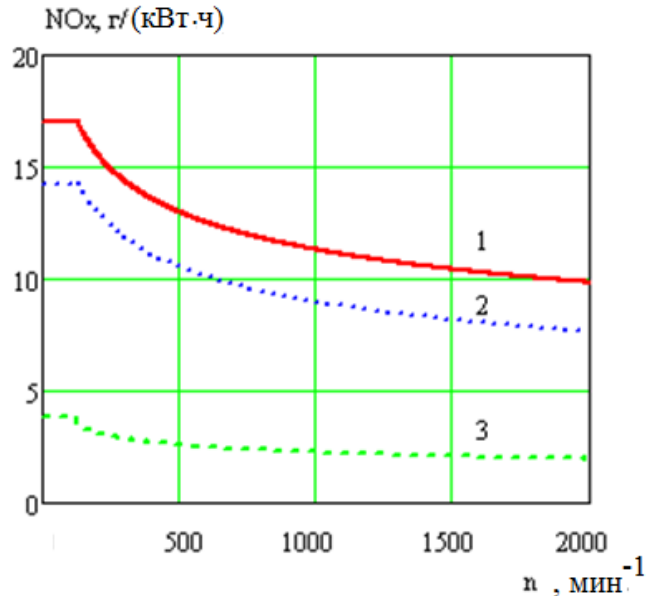


Рис. 1. Нормы выбросов  $\text{NO}_x$  с морских судов:  
 1 – уровень I, ГД > 130 кВт – новые суда с 2000 г.;  
 2 – уровень II, ГД > 130 кВт – новые суда с 2011 г.;  
 3 – уровень III > ГД > 130 кВт – новые суда с 2016 г.  
 в зонах контроля выбросов ECA: Западное и Восточное побережье США, страны Северной Европы

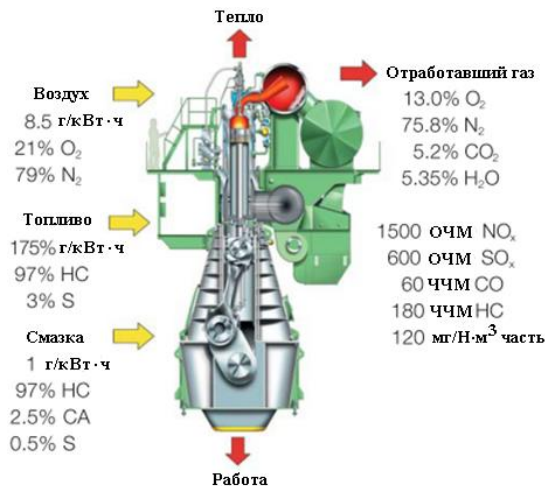


Рис. 2. Расход основных компонентов, обеспечивающих работу дизеля и состав отработавших газов:  
 очм – объемная часть на миллион;  
 ччм – число частей на миллион

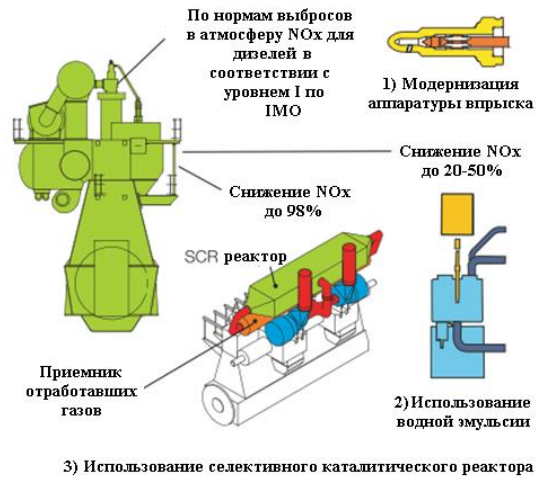


Рис. 3. Методы снижения выбросов  $\text{NO}_x$  SCR (СКР) – селективный каталитический редутор

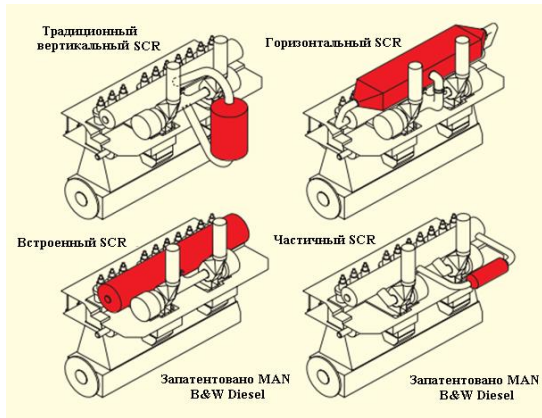


Рис. 4. Основные и перспективные схемы установки селективного каталитического редуктора

Как следует из рис. 3, одним из способов снижения выбросов  $NO_x$  является установка на ГД селективного каталитического редуктора (СКР). Основные и перспективные схемы установки СКР представлены на рис. 4.

Процесс очистки в СКР также зависит от величины рабочей температуры и содержания серы в топливе и типа топлива. На рис. 5 показан компромисс между минимальной и максимальной рекомендуемой температурой выхлопных газов и содержанием серы в жидком топливе для достижения хорошей эффективности и долговечности. Эффективность установки селективных каталитических редукторов представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Эффективность установки селективных каталитических редукторов**

1	6S50MC	только движение	$NO_x$ снижение	93–95%
2	6S50MC	только движение	$NO_x$ снижение	93–95%
3	6S50MC	только движение	$NO_x$ снижение	93–95%
4	6S50MC	только движение	$NO_x$ снижение	93–95%
5	9K80MC-GI-S	движение и генерация	$NO_x$ снижение выше	98%
6	4L35MC-S		$NO_x$ снижение	> 93%
7	2x7K60MC-S		$NO_x$ снижение	> 93%
8	6S35MC	только движение	$NO_x$ снижение	> 93%

На рис. 6 представлена количественная оценка выбросов  $NO_x$  в зависимости от нагрузки на дизель при переходе на водотопливную эмульсию.

Еще одним важным показателем, который регламентируется конвенцией МАРПОЛ 73/78, являются выбросы оксидов серы  $SO_x$  [2, 3]. В табл. 2 приведены текущие и предстоящие ограничения значения содержания серы в жидком топливе.

Таблица 2

**Содержание серы в топливе**

Содержание серы в топливе, %	Зона	Дата имплементации
Макс. 1	SECA	1 июля 2010
Макс. 3,5	Глобально	1 января 2012
Макс. 0,1	SECA	1 января 2015
Макс. 0,5	Глобально	1 января 2020

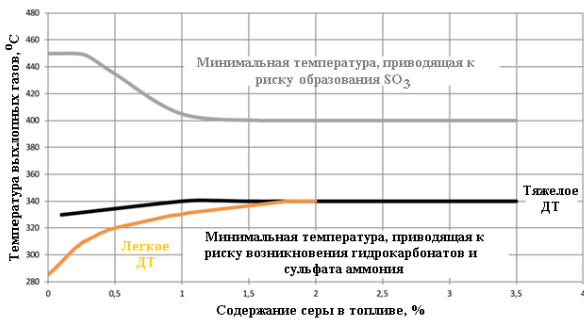


Рис. 5. Рекомендуемые минимальное и максимальное значение температуры в селективном каталитическом редукторе при длительной эксплуатации для топлива, содержащего серу

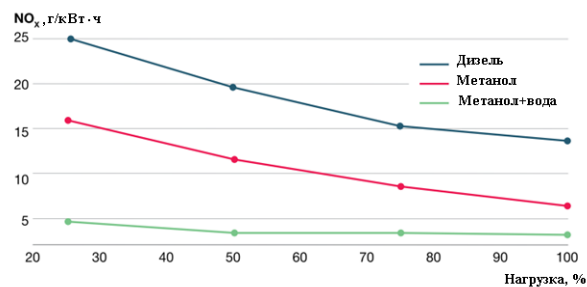


Рис. 6. Снижение выбросов  $NO_x$  при переходе на водотопливную эмульсию

В настоящее время для сокращения выбросов  $SO_x$  на флоте применяются скрубберы. На рис. 7 представлен принцип действия скруббера по открытому циклу (возможна работа как по замкнутому, так и по комбинированному принципу).

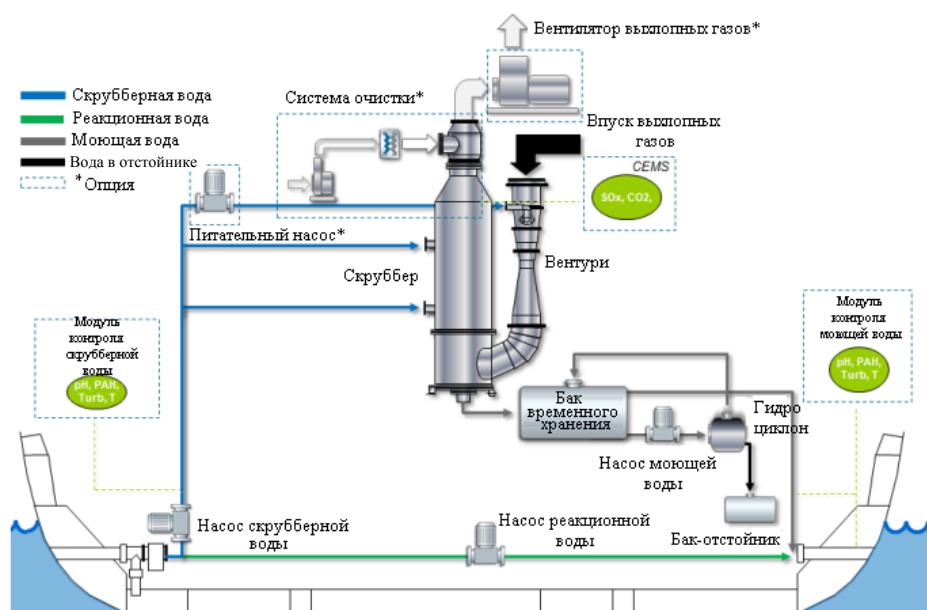


Рис. 7. Принцип действия скруббера по открытому циклу

Кроме способов ограничения выбросов  $NO_x$  и  $SO_x$ , рассмотренных выше, также большое внимание уделяется и снижению эмиссии парниковых газов (ПГ). О существующих способах, применяемых на современных судах, досконально изложено в [4, 5].

Переход к LPG и LNG позволит увеличить мощность ДВС при внесении незначительных изменений в систему подачи топлива в соответствии с выражением:

$$N_{\text{НОМ. ГАЗ}} = N_{\text{НОМ. ДИЗ}} \cdot \left( \frac{C_{F, \text{ДИЗ}} \cdot \text{НТС}_{\text{ГАЗ}}}{C_{F, \text{ГАЗ}} \cdot \text{НТС}_{\text{ДИЗ}}} \right)^{\frac{3}{2}}, \text{ кВт},$$

где  $N_{\text{НОМ. ДИЗ}}$  – номинальная мощность на дизельном топливе, кВт;

$C_F$  – безразмерный коэффициент между расходом топлива в двигателе (г) и выбросами  $CO_2$  (г), определенными по содержанию углерода в конкретном топливе (г  $CO_2$ / г топлива);

НТС – низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг.

Одним из эффективных способов снижения выбросов  $NO_x$  является установка на ГД селективных каталитических редукторов (СКР), которые позволяют снизить количество выбросов  $NO_x$  до 93–98%, в зависимости от применяемой схемы. Для скрубберов этот показатель составит 80–95%.

Снижение общего расхода топлива может привести к дальнейшему сокращению выбросов  $CO_2$  путем перехода на иные виды углеводородного топлива в среднесрочной перспективе. Переход к СНГ и СПГ позволит увеличить мощность ДВС при внесении в его конструкцию незначительных изменений на 22,6–49,6%.

В отдаленной перспективе водородные топливные элементы могут рассматриваться как реальная альтернатива углеводородным видам топлива, но экономические факторы будут ограничивать развертывание новой дорогостоящей инфраструктуры.

## Литература

1. Air pollution and energy efficiency: Background information to document MEPC 64/4/13. Submitted by the International Association of Classification Societies (IACS). Marine environment

protection committee. 64th session. Agenda item 4. MEPC 64/INF.7 2 July 2012. English only. [Электронный ресурс] – URL: [https://www.researchgate.net/publication/315642914\\_Background\\_information\\_to\\_document\\_MEPC\\_64413/](https://www.researchgate.net/publication/315642914_Background_information_to_document_MEPC_64413/) (дата обращения: 30.03.2020).

2. 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).

3. Руководство по применению положений Международной конвенции МАРПОЛ 73/78. НД №2-030101-026 / ФАУ «Российский морской регистр судоходства». – СПб., 2017 – 163 с.

4. *Труднев С.Ю., Рак А.Н., Марченко А.А.* Судовые автоматизированные электроэнергетические системы: Судовые источники электрической энергии: Учеб. пособ. – Часть I [Электронный ресурс] Текстовое (символьное) электронное издание: 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Новокузнецк: Знание-М, 2021. – 188 с.

5. MAN Energy Solutions. MAN B&W ME-LGIP dual-fuel engines [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.man-es.com/marine/products/planning-tools-and-downloads/technical-papers/2> (дата обращения: 22.03.2021).



УДК 628.8

**И.П. Сарайкина, В.А. Иодис, М.А. Матросов**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: upr1974@rambler.ru*

### **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА СПОСОБА УВЛАЖНЕНИЯ ВОЗДУХА В ОХЛАЖДАЕМОМ ПОМЕЩЕНИИ**

В статье рассматриваются вопросы, связанные с выбором и оценкой эффективности тепло- и массообмена способов увлажнения. Анализ технологии введения влаги в воздух охлаждаемых помещений с температурой от 0 до 10°C проводился по технологической и энергетической эффективности.

**Ключевые слова:** охлаждаемое помещение, относительная влажность воздуха, способ увлажнения воздуха, технологическая эффективность, энергетическая эффективность.

**I.P. Saraykina, V.A. Iodis, M.A. Matrosov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: upr1974@rambler.ru*

### **CHOICE JUSTIFICATION OF AIR HUMIDIFYING METHOD IN A COOLED ROOM**

The issues related to the selection and evaluation of the efficiency of heat and mass transfer of humidification methods are discussed. The analysis of the technology of introducing moisture into the air of cooled rooms with a temperature from 0°C to 10°C was carried out according to technological and energy efficiency.

**Key words:** cooled room, relative air humidity, air humidification method, technological efficiency, energy efficiency.

Проблема обеспечения качества плодоовощной продукции при хранении в охлажденном состоянии связана с потерей ею влаги. Поэтому в охлаждаемых помещениях, предназначенных для хранения фруктов и овощей в свежем виде, кроме обеспечения стабильной температуры, большое значение имеет создание и поддержание в заданных пределах не только температуры, но и относительной влажности воздуха на оптимальном уровне.

Как правило, при эксплуатации охлаждаемых помещений для хранения продукции растительного происхождения, оборудованных воздушной системой охлаждения с общеобменной вентиляцией, в теплое время года устанавливается пониженная относительная влажность воздуха. Этот факт отрицательно сказывается на тепловлажностном режиме хранения овощей и фруктов [1].

Необходимо отметить, что увлажнение воздуха полезно также и по той причине, что оно сопровождается эффектом испарительного охлаждения, которое частично компенсирует вредное влияние на тепловлажностный режим в охлаждаемом помещении теплопритоков от грунта и эксплуатационных теплопритоков при работе вентиляторов.

Оценка эффективности тепло- и массообмена увлажняющих устройств, область применения которых лежит в диапазоне положительных температур, проводилась по эксплуатационным и энергетическим затратам, приходящимся на один килограмм распыленной влаги и коэффициенту эффективности процесса увлажнения [2].

Наиболее важным показателем при оценке увлажнителя является коэффициент или степень эффективности процесса увлажнения воздуха:

$$\eta = \frac{d_k - d_n}{d_k'' - d_n}$$

где  $d_n$  – начальное влагосодержание влажного воздуха, г/кг;  
 $d_k$  – конечное влагосодержание влажного воздуха, г/кг;  
 $d_k''$  – влагосодержание насыщенного влажного воздуха, г/кг.  
 Количество разбрызгиваемой или усвоенной воды  $W$  в воздухе, кг/час:

$$W = G_b (d_k - d_n) 10^3,$$

где  $G_b$  – расход увлажняемого воздуха, кг/час;  
 $d_n, d_k$  – влагосодержание воздуха в начале и конце процесса увлажнения, г/кг.

При выборе оптимального способа увлажнения воздуха в охлаждаемом помещении необходимо учитывать энергетическую и технологическую эффективность способа увлажнения. Определение эффективного способа увлажнения на основании рассмотренных показателей не будет являться достоверным.

Эффективность способа увлажнения воздуха с технологической точки зрения можно оценить количеством тепла, которое компенсирует влага, вводимая в воздух, отнесенная к единице массы влаги. Кроме того, равномерность распределения влаги в воздухе зависит от ее количества. Меньшее количество влаги обеспечивает ее более равномерное распределение в увлажняемом воздухе. Технологическая эффективность способа увлажнения воздуха оценивается показателем, определяемым по уравнению [3]:

$$\varepsilon_T = \frac{Q_T}{W_y} = (\varepsilon_t + i_{вл}),$$

где  $\varepsilon_T$  – коэффициент технологической эффективности, кДж/кВт;  
 $Q_T$  – теплопритоки через ограждения, кВт;  
 $\varepsilon_t$  – тепловлажностное отношение, характеризующее процесс изменения состояния подаваемого в помещение воздуха, кДж/кг;  
 $i_{вл}$  – энтальпия вводимой в воздух влаги, кДж/кг;  
 $W_y$  – количество влаги, поступающей из увлажнителя, кг/час.

Эффективность способа увлажнения воздуха, с точки зрения энергетических затрат на его осуществление, можно оценить с помощью показателя энергетической эффективности, которая является величиной, обратной увеличению расчетной холодопроизводительности, причинами которой являются процессы тепловлагообмена при вводе влаги в воздух. Показатель энергетической эффективности определяется по выражению:

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{1 + W_y i_{вл}}.$$

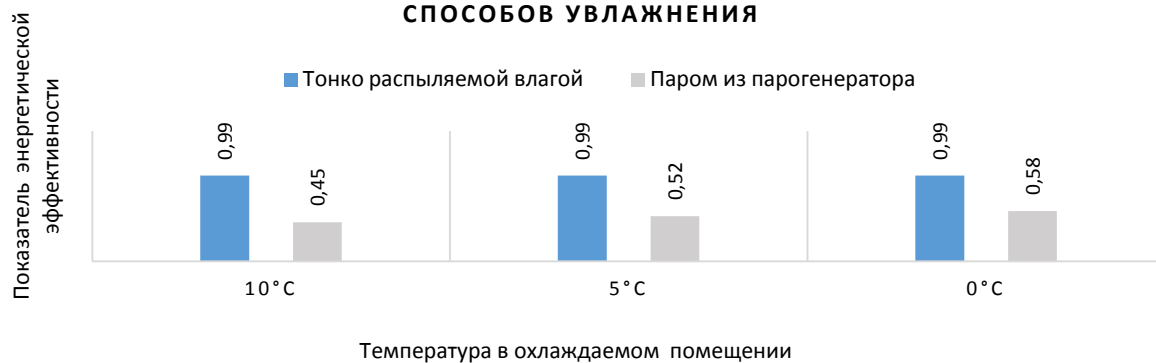
Для сравнения были выбраны два принципиально разных способа увлажнения воздуха в охлаждаемых помещениях – с помощью воды и пара. Определение показателей технологической и энергетической эффективности производилось при различных режимах охлаждения – расчетная температура в охлаждаемом помещении изменялась в пределах от 10 до 0°С и температуре воды 15°С.

Сравнительная оценка эффективности рассматриваемых способов увлажнения наглядно представлена на рисунке. Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что способ увлажнения воздуха водой в охлаждаемом помещении по основным показателям превосходит увлажнение водяным паром.

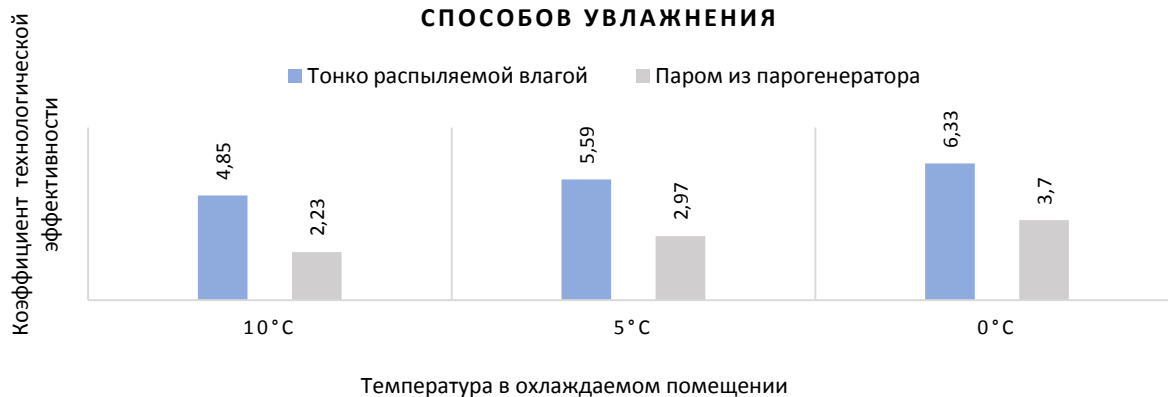
Также необходимо отметить, что в количественном отношении отвод теплоты при охлаждении паром возрастает в 1,72 раза, а при увлажнении водой – в 1,2 раза. Энергетическая эффективность при понижении температуры в охлаждаемом помещении в случае увлажнения воздуха паром значительно возрастает. В то время как зависимость показателя энергетической эффективности от температуры воздуха при увлажнении водой незначительна.

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что система увлажнения воздуха с использованием воды в охлаждаемых помещениях с положительными температурами является более эффективной и с технологической, и с энергетической точки зрения. Поскольку увлажнение воздуха паром по величине коэффициента технологической эффективности и показателя энергетической эффективности значительно уступает способу водяного увлажнения.

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ УВЛАЖНЕНИЯ



### ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПОСОБОВ УВЛАЖНЕНИЯ



*Сравнительная эффективность способов увлажнения воздуха*

Наиболее эффективными из применяемых технологий увлажнения воздуха водой с точки зрения влияния энергетических коэффициентов и показателей технологической эффективности процессов увлажнения, а также с учетом эксплуатационных расходов и капитальных затрат, являются: водяные увлажнители с форсунками мелкодисперсного распыления воды и дисковыми увлажнителями.

### Литература

1. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика: Учеб пособ. (2-е издание) / В.А. Ананьев, Л.Н. Балужева, А.Д. Гальперин и др. – М.: Евроклимат: Арена, 2000. – 416 с.
2. Балыкова Л.И., Сарайкина И.П. Оценка эффективности способов увлажнения воздуха // Рыбохозяйственные исследования Мирового океана: Материалы III Междунар. науч. конф. (19–21 мая 2005 г.). В 3 т. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2005. – Т. 2. – С.148–150.
3. Алексеева О.Н., Балыкова Л.И., Жадан В.З. Эффективность увлажнения воздуха при прямооточном активном вентилировании с использованием естественного холода // Проблемы экономии энергетических ресурсов в сельскохозяйственных сооружениях: Тезисы докладов науч.-техн. конф. – Орел, 1981. – С. 69–71.

УДК 624.042:624.159.4

**С.А. Фоменко**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
Макеевка, Донецкая Народная Республика, 286123  
e-mail: s.a.fomenko@donnasa.ru*

### **К ВОПРОСУ О ДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ, ИСПЫТАНИЯХ И ДИАГНОСТИКЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

В данной работе предпринята попытка представить последовательно развитие и состояние вопроса по трем взаимосвязанным направлениям: динамическим расчетам, испытаниям и диагностике строительных конструкций, зданий и сооружений. Отмечено, что систематического изложения достаточно корректных методик теоретических и экспериментальных исследований, которые было бы удобно применять для расчетов, испытаний и диагностики строительных объектов, практически нет. В качестве основных направлений для исследований можно рассматривать разработку (на основе специально проводимых динамических расчетов и испытаний) методов моделирования, расчетов, испытаний, диагностирования, паспортизации и мониторинга состояния строительных конструкций, сооружений и территорий с оценкой виброэкологической и сейсмодинамической ситуации и определением необходимых способов снижения вибрации объектов.

**Ключевые слова:** динамические расчеты, динамические испытания, динамическая диагностика, здания и сооружения.

**S.A. Fomenko**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Makeyevka, Donetsk Public Republic, 286123  
e-mail: s.a.fomenko@donnasa.ru*

### **ON ISSUE OF DYNAMIC CALCULATIONS, TESTS AND DIAGNOSTICS OF BUILDINGS AND STRUCTURES**

An attempt to present consistently the development and state of the issue in three interrelated areas: dynamic calculations, testing and diagnostics of buildings and structures is made. It is noted that there is practically no systematic presentation of sufficiently correct methods of theoretical and experimental research that would be convenient to use for calculations, tests and diagnostics of construction objects. As the main directions for research, we can consider the development (based on specially conducted dynamic calculations and tests) of modeling methods, calculations, tests, diagnostics, certification and monitoring of the condition of building structures and territories with an assessment of the vibroecological and seismodynamic situation and the determination of the necessary ways to reduce the vibration of objects.

**Key words:** dynamic calculations, dynamic tests, dynamic diagnostics, buildings and structures.

Фундаментальные основы динамики сооружений и различных конструкций были заложены в работах И. Ньютона, Ж. Лагранжа, Ж. Д'Аламбера, Д. Бернулли, О. Коши, Ш. Кулона, Г.Р. Герца, С.П. Тимошенко, Дж.П. Ден-Гартога, А.Н. Крылова и др.

Дальнейшему развитию теории динамики конструкций послужили работы М.Ф. Барштейна, В.В. Болотина, Н.Г. Бондаря, В.З. Власова, Т. Кармана, Б.Г. Коренева и др. Приборному обеспечению испытаний конструкций и метрологии, а также методам проведения испытаний конструкций посвящены работы Н.Н. Аистова, А.Б. Злочевского, Ю.И. Йориша, И.Л. Корчинского и др., а вопросам технической диагностики, обследованию и ремонту сооружений – работы М.Д. Бойко, О.В. Лужина, Р. Чижельского, Т. Явора, Е.В. Денисова и др.

Теории и практике создания, исследования и оптимизации, в частности металлических конструкций, посвящены работы М.М. Жербина, Н.П. Мельникова, Б.В. Остроумова, В.А. Пермякова,

А.В. Перельмутера, В.Н. Шимановского, Е.В. Горохова, Е.В. Шевченко, В.Ф. Муцанова, А.М. Югова и др.; железобетонных – работы В.Н. Байкова, П.Ф. Дроздова, И.Е. Прокоповича, Н.В. Савицкого, Е.А. Яценко, А.П. Кричевского, В.М. Левина, В.И. Корсуна и др.; взаимодействие оснований и фундаментов – работы И.М. Балкарея, Д.Д. Баркана, И.П. Бойко, М.И. Горбунова-Посадова, В.А. Ильичева, О.А. Савинова, А.А. Петракова, В.В. Яркина и др.

Значительный прорыв в последние десятилетия был связан с исследованиями по расчету зданий и сооружений на ветровые динамические нагрузки – Э. Симиу, Р. Сканлана, М.И. Казакевича, Г.М. Фомина, С.Г. Кузнецова, В.В. Губанова и др.; на подвижные нагрузки – И.А. Колесника, С.С. Кохманюка, В.Н. Кущенко и др.; на сейсмические нагрузки – Дж.Ф. Борджеса, Л.Ш. Килимника, Н.А. Николаенко, Г.А. Джинчвелашвили и др.; по нелинейным колебаниям механических систем – В.А. Баженова, В.И. Гуляева, Е.С. Дехтярюка и др.; по устойчивости, виброзащите и динамическому гашению колебаний – А.А. Зевина, В.А. Ивовича, Л.М. Резникова, А.И. Цейтлина, С.Н. Царенко и др.

Однако автору не удалось обнаружить системного изложения корректных методик теоретических и экспериментальных исследований, имеющих хорошую применимость при расчетах, испытаниях и диагностики объектов из класса составных сооружений при различных сложных воздействиях.

Поэтому рассмотрим последовательно развитие и состояние вопроса по трем взаимосвязанным направлениям: динамическим расчетам, испытаниям и диагностике сложных составных сооружений.

*Теоретическое моделирование динамики сложных конструкций и сооружений (обзор литературы).* Три основные этапа каждого теоретического исследования и расчета конструкций приведены в работе [1]:

- 1 – идеализация объекта;
- 2 – анализ расчетной схемы;
- 3 – обратный переход от расчетной схемы к реальной конструкции и формулировка практических выводов по задаче.

В ходе изучения приведенных этапов отмечено, что достаточно много научных работ посвящено 2-му этапу, хотя и сложностей в нем не так уж и много. А вот важные этапы 1-й и 3-й, скорее всего, требуют более тщательной подготовки и проработки.

Классическое представление динамики при проектировании металлических, железобетонных, бетонных, каменных и разнородных конструкций с фундаментами на грунтовых основаниях, выполняя при этом расчеты сооружений на сложные нагрузки, следующее:

- 1) отдельной подсистемой, не связанной со смежными конструкциями и средами и имеющей весьма упрощенную (по сравнению с реальной) схему динамических воздействий;
- 2) всем сооружением, но с усредненными динамическими (например диссипативными) свойствами.

Большую роль в развитии динамических расчетов строительных конструкций и сооружений сыграли теория колебаний, теоретическая механика, механика твердого деформируемого тела, строительная механика и прочность корабля, самолета, ракеты, вагона и т. п. дисциплины, в которых рассматривались не только фундаментальные проблемы движения и НДС упругих тел, но и многие смежные со строительством прикладные задачи [1–20]. Интересные методики и подходы к динамике упругих систем, принципиально отличающиеся от указанных, приведены в работах В.А. Ивовича. Здесь также можно отметить ряд интересных справочных материалов, разработанных под редакцией Б.Г. Коренева, И.М. Рабиновича и А.Ф. Смирнова, К.В. Фролова, А.А. Уманского, И.А. Биргера и Я.Г. Пановко.

Однако в настоящее время для проведения как самостоятельных теоретических исследований и расчетов, так и вспомогательных расчетов для подготовки динамических испытаний и паспортизации сооружений, необходимы определенные обобщения постановок задач применительно к узким конкретным типам строительных сооружений и конструкций, разработка (с учетом возможностей современной компьютерной техники) весьма однотипных и доступных для инженера приемов и подходов, позволяющих составлять динамические модели (желательно совместимые со статическими) конструкций и решать (с требуемой степенью точности) как можно больший круг научных и инженерных задач, включая задачи комплексной диагностики состояния строительных сооружений.

На сегодняшний день достаточно полно освещены методики решения различных задач статики для сложных сооружений, в том числе и при помощи универсальных вычислительных комплексов (SCAD Office, ЛИРА-САПР, GIFTS, ANSYS, COSMOS/M). Что касается задач динамики сложных составных конструкций, то еще требуется разработка корректных (возможно, индивидуальных) методик компьютерного моделирования и исследования соответствующих процессов.

Примерами подобных сложных составных объектов могут служить:

- многоэтажные здания связевого типа с железобетонным каркасом, стальными связями, с керамзитобетонными навесными стенами, бетонными фундаментами и стенами подвала, контактирующими с упругим основанием;

- одноэтажные промышленные здания со стальными конструкциями, а также с железобетонными колоннами и фундаментами, грунтовым основанием;

- висячие, вантовые и другие комбинированные большепролетные конструкции мостов, покрытий зданий или залов и стадионов и т. п.;

- высотные башни, мачты, опоры ЛЭП, состоящие иногда частично (по высоте) из железобетонных конструкций на грунтовом основании, резиновых или композитных (полимерных) прокладок, вибро- или электроизоляторов, металлических пространственных ферм и висячих нитей, соединенных с помощью различных (по конструкции) узлов с оттяжками и т. п.

Достаточно широкий спектр статических, динамических и иных нагрузок типа силовых, кинематических, физико-химических и других, имеющих природное или техногенное происхождение, действует на такие сложные составные здания и сооружения.

Однако большинство универсальных вычислительных комплексов предназначено для решения весьма узкого класса проблем статики и динамики сооружений (о недостатках некоторых универсальных вычислительных комплексов и необходимости применения индивидуальных моделей и подходов говорилось, например, в работах [21–23]).

Часто исследователи выбирают расчетные схемы в линейной и детерминированной постановках для систем с постоянными параметрами, а нелинейные колебания, случайные возмущения и решение задач во временной и в частотной областях не рассматривают. Либо проводится линеаризация нелинейных характеристик (с малой нелинейностью, с небольшим числом степеней свободы) по одному из известных вариантов, без учета переменности параметров или структуры системы, сложного характера возмущений с запаздываниями, без анализа взаимодействия различных подсистем и т. п.

Таким образом, большинство универсальных вычислительных комплексов не сможет покрыть весь спектр затрагиваемых вопросов инженерами. В этой связи есть необходимость программируемых универсальных вычислительных комплексов, либо такой среды, в которой можно реализовать индивидуальный алгоритм решения конкретной инженерной задачи.

Кроме того, одной из целей при решении этой проблемы должна стать определенная унификация и стандартность в самих подходах к постановке достаточно корректных задач. Эта унификация может проводиться, начиная с выбора динамических моделей, составления дифференциальных уравнений движения, учета всех необходимых сложных свойств, явлений и динамических эффектов.

*Экспериментальные исследования и оценка динамических характеристик конструкций (состояние и проблемы).* Относительно недавно динамические испытания массивных зданий или сооружений, а также отдельных крупных элементов строительных конструкций, практически не проводились. Такие испытания использовались либо в качестве приемочных, либо в качестве уточнения тех или иных динамических параметров отдельных конструкций, зданий или сооружений.

Но для решения инженерных задач необходимо применение экспериментальных исследований, которые непосредственно связаны с определением динамических параметров строительных конструкций, зданий или сооружений (например, определение частоты и формы собственных колебаний, измерение перемещений, скоростей и ускорений, статических и динамических напряжений в сечениях несущих конструкций при вынужденных колебаниях).

Подобные вопросы в справочной и научной литературе представлены преимущественно в общем виде, что не позволяет учитывать особенности отдельно взятых объектов, а также в достаточно ограниченном круге авторов (по сравнению, например, с изложенной информацией по тензометрии). Здесь следует отметить лишь учебники [24, 25], а также справочные материалы [26, 27], главу 8 работы [28] и 5-й том «Измерения и испытания» из шеститомника [29].

Тем не менее динамические испытания могут быть проведены с большими погрешностями, если:

- в схемах расстановки датчиков не учтены узлы форм создаваемых свободных колебаний;
- неудачно выбран рабочий диапазон частот виброизмерительной или регистрирующей аппаратуры, включая (для некоторых сооружений большой высоты или пролета) инфранизкие частоты (менее 0,2 Гц);
- присоединяемые к объекту технологическая оснастка и аппаратура вносят существенные искажения в получаемые частоты и формы собственных колебаний.

Отсюда следует очевидное, что учет конкретных особенностей и параметров некоторых сложных сооружений, а также их взаимодействие с динамическими нагрузками возможны лишь путем создания специальных методик проведения натурных и лабораторных динамических испытаний.

*Динамическая диагностика и ее применение при строительстве и эксплуатации сооружений.* Хорошо известно, что динамические испытания (вибрационные, ударные и т. п.) являются хорошим инструментом диагностики свойств материалов, тросов, канатов, затяжек. Они давно закрепились в составе неразрушающих методов контроля бетонных образцов [24] в сочетании со струнными датчиками и др.

В упомянутом выше томе 5 справочной серии [29] специальный раздел посвящен относительно новой отрасли измерений и испытаний в машиностроении – вибродиагностике машин. Гораздо меньше исследована вибродиагностика строительных конструкций и сооружений, см., например, приложения 1 и 2 работы [28].

Следует уточнить, что в последнее время все большее внимание уделяют вопросам диагностики и мониторинга состояния существующих эксплуатируемых конструкций.

По мнению автора, необходима разработка однотипных методик, но различных по применению, чтобы создавать адекватные динамические модели (например, в такой постановке как «источник вибрации – механизмы передачи – приемники вибрации»). Автором также не обнаружены, к примеру, методики, необходимые для конструктивного обсуждения способов изменения механизмов передачи вибрации при проектировании виброзащиты; методики совместного рассмотрения колебаний механических моделей человека (например, монтажника) и легких конструкций (известны лишь оценки динамических реакций фрагментов тела, полученные на автомобильных вибростендах АЧХ, см. т. 6 серии [29]) и т. п.

Таким образом, из обзора литературы вытекает необходимость развития единого комплекса взаимосвязанных исследований по совершенствованию расчетов, испытаний и диагностики сложных составных сооружений.

В качестве основных направлений для исследований можно рассматривать разработку (на основе специально проводимых динамических расчетов и испытаний) методов моделирования, расчетов, испытаний, диагностирования, паспортизации и мониторинга состояния строительных конструкций, сооружений и территорий с оценкой виброэкологической и сейсродинамической ситуации и определением необходимых способов снижения вибрации объектов.

### Литература

1. *Феодосьев В.И.* Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов – М.: Наука, 1969. – 172 с.
2. *Бабаков И.М.* Теория колебаний. – М.: Наука, 1965. – 560 с.
3. *Ганиев Р.Ф., Кононенко В.О.* Колебания твердых тел. – Киев: Наукова думка, 1976. – 431 с.
4. *Ден-Гартог Дж.П.* Механические колебания. – М.: Физматгиз, 1960. – 580 с.
5. *Каннингхем В.* Введение в теорию нелинейных систем. – М.: Госэнергоиздат, 1962. – 456 с.
6. *Пановко Я.Г.* Введение в теорию механических колебаний. – М.: Наука, 1991. – 256 с.
7. *Светлицкий В.А.* Случайные колебания механических систем. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
8. *Гуляев В.И., Баженов В.А., Попов С.Л.* Прикладные задачи теории нелинейных колебаний. – М.: Высшая школа, 1989. – 383 с.
9. *Бидерман В.Л.* Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

10. *Блакьер О.* Анализ нелинейных систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1969. – 402 с.
11. *Хаяси Т.* Нелинейные колебания в физических системах: пер. с англ. – М.: Мир, 1968. – 432 с.
12. *Болотин В.В.* Динамическая устойчивость упругих систем. – М.: Стройиздат, 1971. – 256 с.
13. Устойчивость и колебания деформируемых систем с односторонними связями / *В.А. Баженов, Е.А. Гоцуляк, Г.С. Кондаков, А.И. Оглобля* / Под ред. В.И. Гуляева. – Киев: Вища школа, 1989. – 399 с.
14. *Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У.* Колебания в инженерном деле: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
15. Метод конечных элементов в задачах строительной механики / *В.А. Баженов, А.С. Сахаров, Г.И. Мельниченко, С.М. Чорный* / Под ред. В.А. Баженова. – Киев: КДТУБА, 1994. – 368 с.
16. *Диментберг Ф.М., Фролов К.В.* Вибрация в технике и человек. – М.: Знание, 1987. – 160 с.
17. *Коловский М.З.* Нелинейная теория виброзащитных систем. – М.: Наука, 1966. – 318 с.
18. Случайные колебания: Сб. науч. трудов / Под ред. С. Кренделла. – М.: Мир, 1967. – 356 с.
19. *Фролов К.В., Фурман Ф.А.* Прикладная теория виброзащитных систем. – М.: Машиностроение, 1980. – 267 с.
20. *Пановко Я.Г., Губанова И.И.* Устойчивость и колебания упругих систем. – М.: Наука, 1987. – 352 с.
21. *Kulyabko V.V.* Drawing up of the dynamic models of long-span and high-rise RS buildings and structures in the time of the diagnostics // Proc. 2nd RILEM International Conf. Strbske pleso “Diagnosis of Concrete Structures”. – Bratislava (Slovakia), 1996. – P. 382–385.
22. *Кулябко В.В.* Построение однотипных моделей движущихся транспортных средств, пути и ближайших сооружений и учет их динамического взаимодействия // Труды IX Междунар. конф. «Проблемы механики жел.-дор. транспорта». – Днепропетровск, 1996. – С. 95–96.
23. Применение метода прямых для решения задач динамики комбинированных систем и их элементов / *В.В. Кулябко, А.А. Дубихвост, В.П. Чабан, Д.В. Голуб* // Proc. 3th Ukrainian-Polish seminar “Teoretical Foundations in Civil Engin”. – Warsaw (Poland), 1995. – С. 97–104.
24. *Лужин О.В.* Обследование и испытание сооружений: Учеб. пособ. – М.: Стройиздат, 1987. – 263 с.
25. Динамика железнодорожных мостов / *Н.Г. Бондарь, И.И. Казей, Б.Ф. Лесохин, Ю.Г. Козьмин* / Под ред. Н.Г. Бондаря. – М.: Транспорт, 1965. – 412 с.
26. *Иориш Ю.И.* Виброметрия: Измерение вибрации и ударов: Общая теория, методы и приборы. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машгиз, 1963. – 771 с.
27. *Максимов Л.С., Шейнин И.С.* Измерение вибрации сооружений: Справоч. пособ. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1974. – 255 с.
28. *Казакевич М.И.* Аэродинамика мостов. – М.: Транспорт, 1987. – 240 с.
29. Вибрации в технике: Справочник. В 6 т. / Ред. совет: В.Н. Челомей и др. – М.: Машиностроение, 1978–1981.



#### **СЕКЦИЯ 4. ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ, ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ И ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

УДК 627.1:556.01(470.26)

**Н.Р. Ахмедова, Е.В. Валл, В.А. Наумов**

*Калининградский государственный технический университет,  
Калининград, 236022  
e-mail: van-old@mail.ru*

#### **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЯДА РЕКИ ПРОХЛАДНОЙ**

Гидрологический ряд реки Прохладной имеет тесную стохастическую связь с рядами других рек Калининградской области за 23 года совместных наблюдений. Река Инструч была выбрана в качестве аналога для восстановления ряда, так как такая связь наиболее тесная. Расчетные расходы реки Прохладной заданной обеспеченности были найдены по восстановленному ряду.

**Ключевые слова:** река Прохладная, расход воды, гидрологический ряд, восстановление.

**N.R. Akhmedova, E.V. Vall, V.A. Naumov**

*Kaliningrad State Technical University,  
Kaliningrad, 236022  
e-mail: van-old@mail.ru*

#### **RESTORATION OF THE PROKHLADNAYA RIVER HYDROLOGIC SERIES**

The hydrological series of the Prokhladnaya River has a close stochastic connection with the series of other rivers of the Kaliningrad region for 23 years of joint observations. The Instruch River was chosen as an analogue for the restoration of the series, since such connection is the closest one. The estimated water flow of the Prokhladnaya River of a given supply were found by the restored series.

**Key words:** the Prokhladnaya river, water flow, hydrologic series, restoration.

Гидрологические характеристики реки (ГХР) весьма важны для планирования водохозяйственных мероприятий. Поэтому их изучению посвящено много опубликованных научных статей. Большая часть из них исследует ГХР с длинными рядами наблюдений. Однако доступность измеренных ГРХ во многих случаях либо недостаточна, либо вообще отсутствует. В данной статье рассматривается восстановление ГХР с коротким рядом наблюдений. Эта проблема также вызывает интерес исследователей. Так, в обзоре [1] указано, что гидрологическое моделирование является мощным инструментом для организации планирования, эксплуатации и управления водными ресурсами в речном бассейне. Существующие подходы включают метод гидрологической аналогии и географической интерполяции, гидрологические модели с распределенными параметрами, а также комбинированные метеорологические и гидрологические модели. В [1] проанализированы ограничения указанных методов при использовании в условиях неизученных или малоизученных водосборов. Ни один отдельный метод не может рассматриваться как наилучший.

Работа [2] посвящена оценке эффективности, основанной на месячном водном балансе модели осадков и стока. Получена ежемесячная оценка стока воды в 2019 году в неизученных водосборных бассейнах рек северного Алжира с использованием регионализации параметров указанной модели. В [3] был рассмотрен метод моделирования стока Long-Short-Term-Memory. Предложенная модель была применена к рекам бассейна озера (Poyang Lake Basin). Представлено сравнение результатов расчета с наблюдаемыми рядами расхода воды за 2009–2014 годы.

Показано также сравнение эмпирических методов и результатов гидрологического моделирования [4]. Использовались шесть статистических оценок. Было получено, что результаты гидрологического моделирования превосходят по точности прогнозирования все остальные методы.

Река Прохладная имеет короткий ряд гидрологических наблюдений в первой половине прошлого века. Цель данной работы – восстановление гидрологического ряда и расчет среднегодового расхода реки Прохладной, заданной обеспеченности.

Водосборный бассейн реки Прохладной показан на рис. 1. Он занимает юго-западную часть Калининградской области. Общая площадь бассейна составляет 1 170 км<sup>2</sup>, из них 14% находится на территории Польши. Длина реки 77 км. Средний уклон реки 0,46 м/км. Исток находится севернее деревни Грушевка, Озёрский заповедник (болота Целау), Правдинский район, Калининградская область, высота над уровнем моря 35,4 м. Устье – Калининградский залив Балтийского моря, село Ушаково [5]. Густота речной сети 1,01 км/км<sup>2</sup>.



Рис. 1. Бассейн реки Прохладной, 1 – гидрологический пост. За основу взята карта из [6]

Ширина реки в нижнем течении составляет несколько десятков метров. Скорость течения 0,2–0,7 м/с. Средний уклон водосбора составляет 1,7 м/км. Максимальная высота в водосборе – 190 м балтийской системы (БС). Извилистое русло реки лежит в широкой плоской местами заболоченной долине. Показатель извилистости – 1,22.

В речной пойме много заливных лугов на надпойменных перегнойно-глеевых, иловато-глеевых и торфяно-глеевых почвах. Крупные и средние лесные массивы отсутствуют. Встречаются ивняки и черноольшаники на песчано-гравийных и торфяных почвах. Грунтовые породы местности, по которой протекает река Прохладная: пески, алевриты, глины, мергели, опок, трепел, известняки.

Бассейн реки Прохладной играет важную роль в водохозяйственном комплексе региона. В бассейне реки находятся города Ладушкин и Багратионовск, а также несколько поселков. Почти на всем протяжении реки Прохладной прилегающая местность изобилует каналами осушительных систем. Многие из них требуют капитального ремонта. В январе 2022 года были завершены работы по расчистке русла реки Прохладной. Русло реки освободили от захламляющей водной растительности и донных отложений на протяжении 17 км от деревни Светлое до устья. Работы были выполнены в рамках реализации мероприятий федерального проекта «Сохранение уникальных водных объектов» национального проекта «Экология» [7].

Гидрологический пост (ГП) на реке Прохладной (нем. Frisching) действовал в деревне Светлое (Коббельбуде) с конца 1889 до начала 1958 года. Расстояние ГП от истока  $L = 63$  км. Площадь водосбора до ГП  $A = 941$  км<sup>2</sup>. Результаты наблюдений за средними годовыми расходами

доступны за 23 года (1918–1941, за исключением 1940 года) [8]. Результаты наблюдений за уровнем воды доступны за 1912–1957 годы (за исключением некоторых лет мировых войн и послевоенного периода) [9].

Научные группы Калининградского государственного технического университета (КГТУ) изучали некоторые гидрологические характеристики реки Прохладной в последние десятилетия [10, 11]. Так, в [11] приведены результаты измерений расходов, средних скоростей и уровней воды в реке с 1998 по 2010 год. Однако исследования [10, 11] были выполнены лишь в летние месяцы и не позволяют судить о стоке реки за весь год.

ГП на реке Прохладной был включен в перечень базовых гидрологических постов утвержденной схемы комплексного использования и охраны водных объектов региона [12]. В качестве среднего многолетнего расхода было принято значение  $Q_0$ , рассчитанное в [8] по наблюдениям 1918–1941 годов. Заметим, что в таблице 6.3 [12, с. 88] допущена грубая ошибка. При анализе однородности ряда приведены средние расходы за первый период (1918–1928)  $Q_1 = 8,34 \text{ м}^3/\text{с}$ ; за второй период (1928–1941)  $Q_2 = 8,71 \text{ м}^3/\text{с}$ . Однако при таких значениях  $Q_1$  и  $Q_2$  не может получиться  $Q_0 = 6,86 \text{ м}^3/\text{с}$  за весь период наблюдений.

Результаты наблюдений за уровнями и расходами воды имеются по нескольким рекам Калининградской области с 1901 года по настоящее время. Ряды имеют значимую стохастическую связь. Коэффициенты парной корреляции между ними не ниже 0,75. Период наблюдений за 1918–1941 годы содержит заметно большее количество маловодных лет (по крайней мере, меньше среднего многолетнего значения), чем многоводных. Поэтому данный период не может служить базовым для определения среднего многолетнего расхода (1901–2019) реки Прохладной, как это принято в [12]. Требуется восстановление гидрологического ряда реки Прохладной.

На рис. 2 представлено изменение средних суточных уровней воды в 1956 году в реках Прохладной (ГП Светлое), Инструч (ГП Ульяново), Лава (ГП Знаменск) по данным [13]. Наибольший коэффициент парной корреляции оказался у уровней двух первых рек (0,821), почти такой же у уровней рек Прохладной и Лава (0,818).

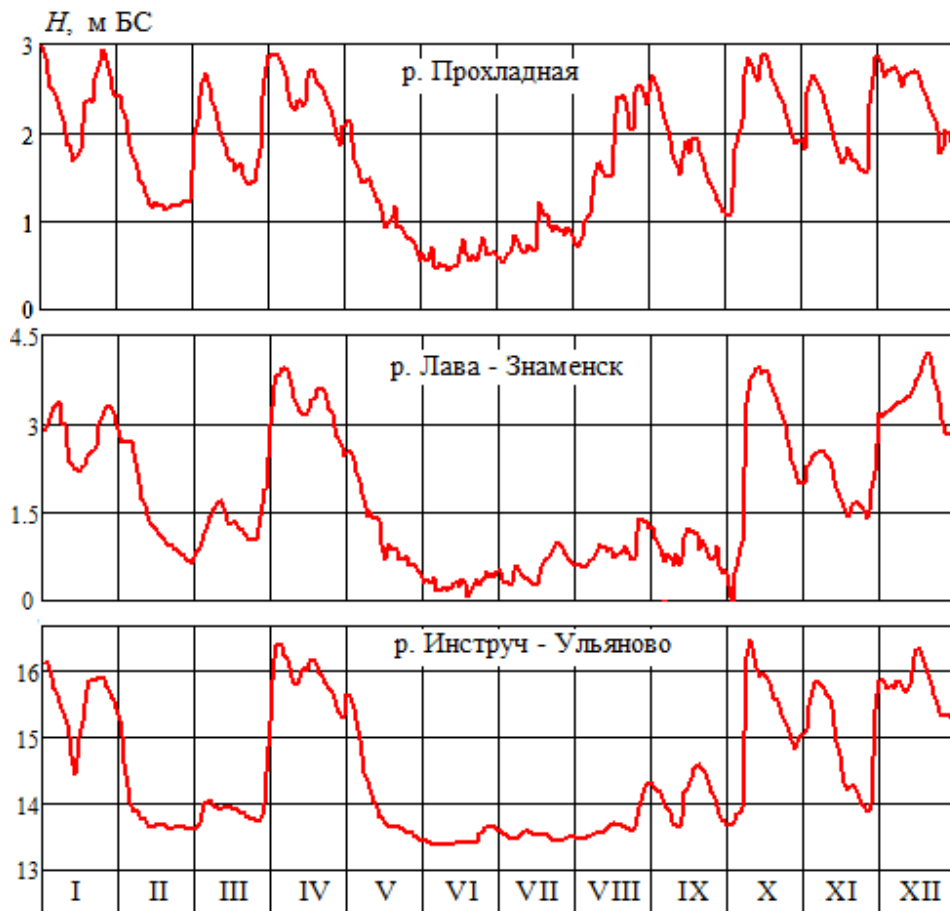


Рис. 2. Изменение уровня воды трех рек в 1956 году

В российских нормативных документах при подборе реки-аналога в первую очередь требуется схожесть гидрологических условий. Поэтому будем подбирать аналог среди малых рек Калининградской области. В табл. 1 приведены параметры реки Прохладной и малых рек региона, на которых проводились систематические наблюдения. Обозначения в таблице:  $L$  – расстояние ГП от истока,  $A$  – площадь водосбора до ГП,  $I$  – средний уклон дна. Видно, что наиболее близкие значения характерных параметров  $IA^{0,5}$ ,  $LA^{-0,56}$  с рекой Прохладной имеет река Инструч (ГП Ульяново). Коэффициент парной корреляции между среднегодовыми расходами указанных рек за 23 года совместных наблюдений составил 0,812. Что говорит о значимой стохастической связи. Поэтому река Инструч была выбрана в качестве аналога.

Таблица 1

Данные по параметрам малых рек Калининградской области

Река	ГП	$A$ (км <sup>2</sup> )	$L$ (км)	$I$ (м/км)	$IA^{0,5}$	$LA^{-0,56}$
Прохладная	Светлое	941	63	0,46	1,36	14,11
Инструч	Ульяново	587	51	0,57	1,44	13,81
Мамоновка	Мамоново	300	45	2,44	1,84	42,2
Нельма	Кострово	163	30	2,20	1,73	28,1
Злая	Приозерье	142	50	0,80	3,11	9,53

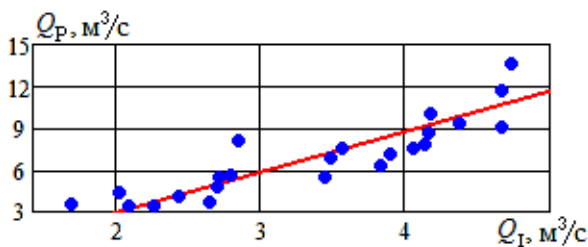


Рис. 3. Связь между годовыми расходами реки Инструч (Ульяново)  $Q_I$  и реки Прохладной  $Q_P$  за 23 года (1918–1939, 1941). Точки – данные наблюдений, прямая – линейная аппроксимация

На рис. 3 представлена связь между годовыми расходами реки Инструч (Ульяново) и реки Прохладной за годы совместных наблюдений. По ней был восстановлен ряд среднегодовых расходов реки Прохладной (рис. 4).

По восстановленному ряду была построена эмпирическая теоретическая кривая обеспеченности среднегодовых расходов реки Прохладной (рис. 4). Эмпирическая обеспеченность была рассчитана по известной формуле:  $P_i = i / (n + 1)$ , где  $i$  – номер члена ряда по убыванию;  $n$  – длина ряда, в нашем случае  $n = 119$ .

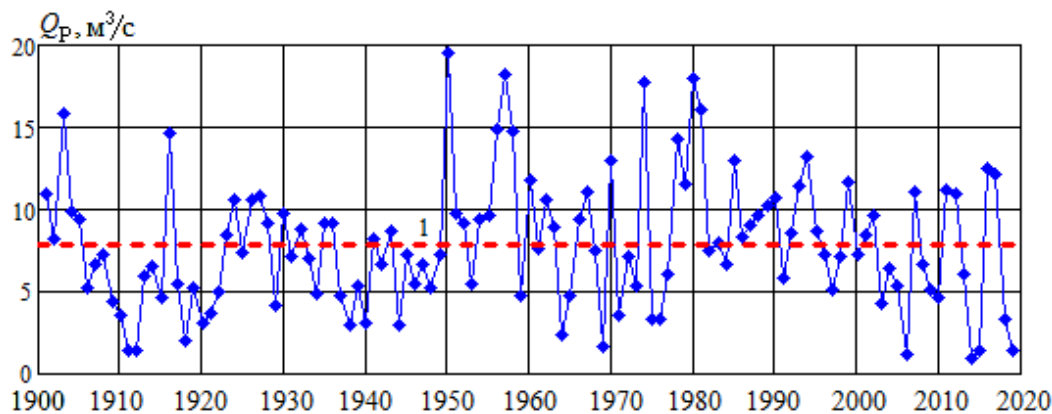


Рис. 4. Восстановленный ряд реки Прохладной (ГП Светлое), 1 – среднее многолетнее значение

В качестве теоретического закона было принято трехпараметрическое гамма-распределение с плотностью вероятности [14]:

$$f(k) := \frac{1}{b \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot (\Gamma(\alpha + b) / \Gamma(\alpha))^{a/b} \cdot k^{\alpha/b - 1} \cdot \exp\left[-(k \cdot \Gamma(\alpha + b) / \Gamma(\alpha))^{1/b}\right], \quad k = Q_P / Q_{Sp},$$

где  $\Gamma$  – гамма-функция. Параметры распределения были найдены методом наибольшего правдоподобия:  $\alpha = 0,982$ ;  $b = 0,475$ .

По теоретическому распределению были найдены расчетные расходы воды в реке Прохладной различной обеспеченности. Они показаны в табл. 2.

Таблица 2

Расчетные расходы воды в реке Прохладной заданной обеспеченности

$P$ (%)	$Q$ (м <sup>3</sup> /с)	$P$ (%)	$Q$ (м <sup>3</sup> /с)	$P$ (%)	$Q$ (м <sup>3</sup> /с)	$P$ (%)	$Q$ (м <sup>3</sup> /с)
1	18,4	5	15,0	50	7,45	95	2,12
2	17,1	10	13,2	75	4,88	98	1,35
3	16,2	25	10,4	90	3,01	99	0,97

Таким образом, по восстановленному ряду реки Прохладной был рассчитан средний многолетний расход 7,86 м<sup>3</sup>/с, коэффициент асимметрии  $C_v = 0,503$ . Расчетные расходы воды в реке Прохладной могут быть использованы при планировании водохозяйственных мероприятий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

### Литература

1. Гебрехивот А.А., Козлов Д.В. Гидрологическое моделирование в условиях неизученных водосборов аридных и полуаридных регионов // Вестник МГСУ. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 14, № 8. – С. 1023–1036.
2. Zamoum S., Souag-Gamane D. 2019. Monthly streamflow estimation in ungauged catchments of northern Algeria using regionalization of conceptual model parameters // Arabian Journal of Geosciences. – 2019. – Vol. 12. – Paper Number 342.
3. Comparison of long short term memory networks and the hydrological model in runoff simulation / H. Fan, M. Jiang, L. Xu et al // Water. – 2020. – Vol. 12. – Paper Number 175.
4. Marahatta S., Devkota L., Arya D. Hydrological modeling: a better alternative to empirical Protection. – 2021. – Vol. 13. – P. 254–270.
5. Некоммерческий фонд «Исток». Река Прохладная [Электронный ресурс] – URL: [https://istok39.ru/reka\\_prochladnaya](https://istok39.ru/reka_prochladnaya) (дата обращения: 09.09.2022).
6. Домнин Д.А., Чубаренко Б.В. Атлас трансграничных речных бассейнов Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика, 2007. – 36 с.
7. Федеральное агентство водных ресурсов. Невско-Ладужское бассейновое водное управление [Электронный ресурс] – URL: <http://www.nord-west-water.ru/governance/news/37586/> (дата обращения: 09.09.2022).
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 4, вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. В.Е. Водогрецкого. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – 508 с.
9. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Т. 1. РСФСР. – Вып. 4. Бассейны рек Калининградской области / Под ред. Н.В. Шаблиевой. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. – 88 с.
10. Результаты натурных исследований малых водотоков на мелиорированных землях региона / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, Л.В. Маркова, А.А. Смирнова // Вода: химия, экология. – 2013. – № 7. – С. 18–26.
11. Берникова Т.А., Нагорнова Н.Н., Цупикова Н.А. Некоторые результаты гидрологического исследования водотоков Калининградской области // Известия КГТУ. – 2014. – № 32. – С. 74–82.
12. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). Утверждена приказом Невско-Ладужского БВУ Федерального агентства водных ресурсов № 171 от 09.12.2014 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 09.07.2022).
13. Гидрологический ежегодник 1956 года Т. 1. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Л.И. Глазачевой. – Вып. 4–6. Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 401 с.
14. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1974. – 424 с.

УДК 613.7

**М.Э. Иванов, М.Ю. Бобров**

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

## **ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ НА ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА**

В целом активная физическая деятельность оказывает благотворное влияние на человеческий организм. Однако необходимо учитывать значение и методику подготовки организма к физическим нагрузкам. Основой такой подготовки является реализация различных комплексов физических упражнений, позволяющих не только поддерживать организм в тонусе, но и подготавливать его к активным физическим нагрузкам, связанным с производственной деятельностью. Особенно актуально внедрение комплексов физических упражнений в процесс подготовки курсантов для работы в море. При регулярном выполнении рекомендованных комплексов физических упражнений существенно повышается готовность человеческого организма к физическим и психологическим нагрузкам.

**Ключевые слова:** физическая нагрузка, упражнения, мышечная работа, здоровье, тренировки.

**M.E. Ivanov, M.Y. Bobrov**

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

## **THE EFFECT OF PHYSICAL EXERCISE ON HUMAN LIFE**

In general, active physical activity has a beneficial effect on the human body. However, it is necessary to take into account the importance and method of preparing the body for physical activity. The basis of such training is the implementation of various sets of physical exercises that allow not only to keep the body in good shape, but also to prepare it for active physical loads associated with production activities. The introduction of complexes of physical exercises into the process of preparing cadets for work at sea is especially important. With the regular implementation of the recommended sets of physical exercises, the readiness of the human body for physical and psychological stress increases significantly.

**Key words:** physical activity, exercises, muscle work, health; trainings.

На сегодняшний день тот факт, что многие люди попросту не демонстрируют никакой физической активности, – это самый вредный фактор в жизнедеятельности человека. Он максимально негативно воздействует на процессы развития человека, на его гармоничный рост. Соответственно, вместе с тем развиваются всевозможные заболевания. Сегодня человек освобожден практически от трудной физической работы, так как большинство производств автоматизированы, механизированы. Повсеместно развит транспорт. Вот почему все то, что мы видим сейчас, есть «болезнь нации».

На протяжении длительного промежутка времени никто не уделял внимания данному фактору. Однако экспертным путем ученые смогли доказать, что во всех развитых странах, несмотря на колоссальные успехи медицины, количество лиц, болеющих хроническими недугами, стремительно возрастает. Чаще всего болеет тот, кто мало двигается [1].

Отрицательное воздействие гиподинамии выступает прежде всего в качестве фактора, который влечет за собой понижение энергетического обмена, обмена веществ. По итогу нарушается кровоснабжение тканей, к ним поступает меньше кислорода, а также прочих питательных веществ. В конечном итоге образуется так называемое кислородное голодание головного мозга, прочих жизненно важных органов. Снижается вместе с тем объем легких, количество гемоглобина, эритроцитов. Таким образом, кровь переносит мало кислорода. Так

как при гиподинамии применение энергии занижено, то даже в случае с нормальным питанием жировая ткань непременно растёт.

На 10% здоровье человека зависит от медицины, на 25% – от воздействия факторов экологии, на 20% оказывает воздействие ряд генетических факторов. Но на 50% все зависит от физической активности человека. Соответственно, главная проблема – это занятие физическими оздоровительными нагрузками, которые способствуют укреплению организма человека. Практика показывает, что занятие физической культурой помогает улучшить общее состояние человека. Вне зависимости от того, на каком этапе развития в эволюции пребывает человек, все связано с мышечной активностью. Наш организм развивается все время. Природа распорядилась так, что нужно все время развивать физические способности и возможности [2].

Даже в утробе матери ребенок, который не родился, уже развивается в двигательном плане. Потребность в движении – это характерная черта растущего организма. Но, к большому сожалению, взрослый переживает меньшую потребность в движении, чем ребенок. Тем не менее, движение необходимо как сон или еда. При недостатке физической активности понижается уровень сопротивляемости организма к простуде, к действию прочих возбудителей инфекций. Человек, который ведет малоподвижный образ жизни, часто страдает заболеваниями органов кровообращения, дыхания.

Вместе с расстройствами пищевого поведения снижение двигательной активности, в целом – неправильный образ жизни, приводит к набору чрезмерного веса, так как в тканях откладывается жир. Но постоянные упражнения, в частности физические, могут увеличить подвижность диафрагмы и грудной клетки. В процессе занятия физическими упражнениями дыхание становится глубоким, редким, а мышцы, которые обеспечивают работу органов дыхания – упругими, сильными. За счет ритмичного дыхания кровеносные сосуды расширяются, а значит снабжение питательными веществами сердечной мышцы нормализуется.

В большинстве здоровье человека зависит от того, как мы двигаемся. Кроме прочего, воздействие двигательной активности на настроение, на умственные способности часто сильнее, чем кажется даже на первый взгляд. Тот факт, что работоспособность в физическом плане и образ жизни связаны между собой, не вызывает сомнений. Организм человека как бы запрограммирован на систематическую интенсивную двигательную активность [3, 4].

Привычная реакция организма на физические упражнения – это повышение общего тонуса функционального состояния организма, улучшение его жизнедеятельности. Это все в значительной мере определяет степень сопротивления любым заболеваниям. Самое главное тут – нервная система, на нее действуют физические упражнения, в первую очередь увеличивается умственная активность, снимаются тормозные состояния в мозге, что нарушает работу прочих органов и так далее.

Таким образом, нормализуются функции разных систем и органов. Под воздействием разных физических упражнений связь от мозга к нервным окончаниям обуславливает требуемое мышечное напряжение, осанку. Что касается физических упражнений, то они помогают также повысить мышечную выносливость, поддерживать правильную осанку, положение скелета.

Воздействие физических упражнений на сердечно-сосудистую систему прежде всего обуславливается тренировками, укреплением сердца, а с другой стороны – нормализацией работы механизма, который отвечает за регуляцию работы системы кровообращения в целом. При выполнении физических упражнений жиры не откладываются, а используются организмом. Нормализуется кровоток в сердце, нормализуется давление.

Кроме прочего, особым образом реагирует дыхательная система на постоянные физические упражнения. Во-первых, увеличивается объем легких; во-вторых, формируется правильное дыхание. Наконец, процесс газообмена в легких стабилизируется. За счет правильно выбранных упражнений можно улучшить работоспособность желудочно-кишечного тракта, а также нормализовать пищеварение. Это активизирует защитные силы организма, закаляет его, увеличивает его сопротивляемость к заболеваниям и укрепляет здоровье.

Говоря о спорте, можно с уверенностью сказать о том, что он положительно воздействует на образ жизни человека, на его ценности, на деловую жизнь и так далее. Культура физического здоровья прежде всего состоит в принципах общей культуры личности. В понятие физкультуры входят знания и ценности, которые создаются, применяются обществом с целью развития умственных, физических способностей для нормализации двигательной активности, для воспитания здорового образа жизни [5, 6].

Один из самых важных итогов вовлечения подростков в занятие спортом – гармоничное многоплановое личностное развитие. В жизни применение методов физкультуры оказывает профилактическое воздействие против заболеваний. Примечательно, что поддержка ЗОЖ имеет колоссальное значение. Спорт – отличный спутник не только для молодежи, но и для всех взрослых людей. Это средство профилактики и выздоровления, защита от хронических недугов и так далее.

Год за годом все больше людей начинают говорить о спорте как о социальном феномене. Полагаем, что это так называемый мост, который дает возможность связать социальное и биологическое развитие человека, первый тип культуры, формируемой в человеке. Обучение физическому здоровью должно начинаться с ранних лет и длиться всю жизнь. Занимаясь гимнастикой каждый день, нужно выработать в себе привычку – как можно больше времени проводить в движении. Разумеется, не каждый человек – спортсмен. Но важно подчеркнуть, что спорт дает возможность быстро справиться не только с физическими нагрузками, но и моральными, с умственными напряжениями.

Как видим, в России сегодня развивается активный интерес к спорту, к ЗОЖ в целом. Существует социальный феномен, который проявляется в экономической заинтересованности общества в сохранении здоровья каждого человека как основы благополучия всего общества.

Занятия физкультурой полезны для человека. Спорт нормализует работу всех систем организма, процессы обмена веществ в тканях. Усиливается стабильность организма, опорно-двигательный аппарат укрепляется.

В течение длительного промежутка времени при занятиях физкультурой человек обретает выносливость и ловкость, может совершать сложные физические упражнения, выполнять трудную мышечную работу длительное время. Кроме прочего, организм адаптируется к физическим нагрузкам.

Физические упражнения помогают обеспечить управляемость жизненными процессами, сохранить постоянство внутренней среды. Если же двигательная активность недостаточна, то порождаются неестественные, особые условия жизнедеятельности человека, которые негативно воздействуют на функцию, структуру тканей и органов. Вот почему понижаются защитные силы человека, возникает высокий риск заболеваний. Вместе с грамотным сочетанием режимов отдыха и труда, нормализацией питания, отказа от вредных привычек систематизируется мышечная активность, повышается умственная, психическая, эмоциональная устойчивость.

Самое главное, чтобы в жизни каждого человека физкультура стала важной частью бытия, она должна быть включена в жизнь с первых дней и не покидать нас до старости.

### Литература

1. *Воронина Ю.С.* Влияние физических упражнений на полноценное развитие организма человека // Наука о здоровье. – 2019. – № 6. – С. 34–39.
2. *Жодь М.С.* Роль физической культуры в жизни человека // Физкультура и спорт. – 2019. – № 3. – С. 44–47.
3. *Белов О.А.* Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 11–16.
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., Толстова Л.А.* Моделирование процесса обучения курсантов для формирования навыков технической эксплуатации // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 3 (16). – С. 78–81.
6. *Белов О.А.* Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.



УДК 579.26:582.272.46(571.66)

**А.В. Климова, Л.А. Позолотина**

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

### **ОЦЕНКА САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛАМИНАРИЕВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ АВАЧИНСКОГО ЗАЛИВА (ЮГО-ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА) В 2021 Г.**

В работе представлены результаты определения содержания тяжелых металлов в промысловых и потенциально промысловых видах ламинариевых водорослей юго-восточной Камчатки. Сбор материала проводили в Авачинском заливе в 2021 г. За весь период наблюдений максимальное содержание свинца в пластинах водорослей достигало 7,3 мг/кг сухой массы, однако в целом оно варьировало в диапазоне от следовых количеств до 2,4 мг/кг сухой массы. Аналогичная ситуация отмечена для аккумуляции кадмия, его содержание во всех исследованных водорослях не превышало 2,8 мг/кг сухой массы. Среди 10 проанализированных видов уровни содержания свинца и кадмия соответствуют установленным нормативным документам. Исключение составили пробы *Alaria esculenta*, собранные во внутренней части Авачинской губы в районах с регулярным антропогенным воздействием.

**Ключевые слова:** кадмий, предельно допустимый уровень, свинец, экологический мониторинг, Laminariales.

**A.V. Klimova, L.A. Pozolotina**

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

### **ASSESSMENT OF SANITARY AND HYGIENIC SAFETY OF LAMINARIA ALGAE IN THE AVACHA BAY (SOUTH-EASTERN KAMCHATKA) IN 2021**

The results of determining the content of heavy metals in commercial and potentially commercial species of Laminariales in southeastern Kamchatka were presented. The samples were collected in the Avacha Bay in 2021. Over the entire observation period the maximum lead content in algae blades reached 7,3 mg/kg of dry weight, but in general it varied in the range from trace amounts to 2,4 mg/kg of dry weight. A similar situation was noted for the accumulation of cadmium. Its content in all studied algae did not exceed 2,8 mg/kg of dry weight. Among 10 analyzed species the levels of lead and cadmium correspond to the established regulatory documents. The exception was samples of *Alaria esculenta* collected in the inner part of the Avacha Bay in areas with regular anthropogenic impact.

**Key words:** cadmium, maximum allowable level, lead, environmental monitoring, Laminariales.

Морские водоросли макрофиты являются природными источниками уникальных биологически активных веществ и различных микро- и макроэлементов [1–3]. С 2009 г. их мировая продукция ежегодно превышает 19 млн тонн, в 2019 г. она достигла 35,8 млн тонн [4]. При этом существенная часть сырья выращивается искусственно, т. е. культивируется. В то время как добыча макроводорослей из естественных зарослей неуклонно снижается и за период 2009–2019 гг. в среднем составляла всего 4% от общей величины мировой продукции. Среди вовлеченных в хозяйственную деятельность человека макрофитов наибольшая доля приходится на бурые водоросли (Phaeophyceae). Они используются непосредственно как пищевой продукт и для выделения биологически активных компонентов, не имеющих синтетических аналогов.

В дальневосточных морях России сосредоточены значительные запасы бурых водорослей. Кроме того, здесь произрастает треть видового разнообразия ламинариевых Мирового океана [5]. По экспертным оценкам ресурсный потенциал ламинариевых водорослей российского Дальнего

Востока оценивается в количестве не менее 3 млн тонн, из которых на долю Камчатского края приходится более 550 тыс. т [6, 7]. Очевидно, что запасы водорослей распределены в прибрежных районах Дальнего Востока неравномерно. Одним из перспективных районов добычи бурых водорослей является Восточная Камчатка, а именно Петропавловско-Командорская промысловая подзона. Общий запас ламинариевых здесь составляет более 96 тыс. т [8].

Ламинариевым, как и бурым водорослям в целом, свойственно накопление токсичных компонентов среды, которые могут негативно влиять на рост и развитие морских растительных организмов, а также представлять риск для здоровья населения прибрежных стран [1, 2, 4]. Как правило, к таким нежелательным компонентам относятся металлоиды и тяжелые металлы. Их накопление в водорослях зависит от абиотических факторов окружающей среды (соленость, температура, pH, освещение) и определяется видоспецифичными особенностями.

Безопасности сырья из промысловых водорослей и других гидробионтов в настоящее время уделяется все больше внимания. Поскольку в прибрежных районах в результате активного освоения и индустриализации концентрация токсичных компонентов в морской среде неуклонно повышается. Поэтому оценка санитарно-гигиенической безопасности природного сырья является актуальной задачей, регулируемой на уровне нормативных документов [3, 9]. Так, для многих групп гидробионтов установлены предельно допустимые уровни (ПДУ) содержания в них таких элементов, как Pb, Cd, Hg и As. Однако в настоящее время оценка безопасности водорослевого сырья юго-восточной Камчатки не ведется, как и не проводится ежегодный экологический мониторинг районов произрастания промысловых и потенциально промысловых видов морских водорослей. В связи с этим целью исследования являлось определение уровней содержания свинца и кадмия в ламинариевых водорослях, произрастающих в Авачинском заливе.

Материалом для настоящей работы послужили бурые водоросли (Laminariales, Phaeophyceae), собранные у берегов юго-восточной Камчатки в Авачинском заливе. Основными районами исследования являлись Авачинская губа, включая бух. Сероглазка, побережье сопки Никольской, мыс Санникова, бух. Завойко, бух. Большая Лагерная, мыс Вилкова, бух. Шлюпочная, и сопредельные акватории – мыс Маячный, остров Старичков и бух. Вилочинская. Единичные сборы водорослей были проведены у мыса Налычево и в бух. Лиственничной.

Сбор водорослей проводили в период с мая по ноябрь 2021 г. в литоральной зоне и в сублиторальной кайме во время сизигийных отливов, а также легководолазным способом в диапазоне глубин от 1,5 до 5 м. В работе использовали 10 видов порядка Laminariales: *Alaria esculenta*, *Eualaria fistulosa*, *Agarum clathratum*, *A. turneri*, *Thalassiphyllum clathrus*, *Arthrothamnus bifidus*, *Hedophyllum bongardianum*, *H. dentigerum*, *Laminaria longipes*, *L. yezoensis*. Все указанные выше виды достаточно часто встречаются у берегов юго-восточной Камчатки, наиболее массовыми являются *A. esculenta* и *H. bongardianum*. Всего в 2021 г. для определения химического состава было проанализировано 127 проб бурых водорослей.

Для определения содержания тяжелых металлов (Pb и Cd) в исследуемых бурых водорослях использовали атомно-эмиссионный спектрометр с микроволновой плазмой Agilent AES-MP 4200 (Agilent Technologies, США). Пробоподготовку водорослевого материала проводили в системе кислотного разложения проб Ethos UP (Milestone, Италия). Вычисление концентраций элементов и предварительную обработку полученных данных выполняли в программе MP Expert (Agilent Technologies, США). Конечное значение концентрации каждого элемента в анализируемой пробе определяли как среднее арифметическое значений концентраций пяти параллельных измерений. Контроль точности определения концентраций всех металлов проводился по анализу стандартных образцов (ЛБ-1, ЭК-1, ИГХ СО РАН). Все значения концентрации приведены в мг/кг сухой массы.

Для сравнительного анализа безопасности водорослевого сырья руководствовались СанПиН 2.3.2.1078-01 «Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

Согласно нормативам Европейского союза, содержание свинца и кадмия в морских водорослях, используемых в качестве пищевой добавки, не должно превышать 3 мкг/г сухой массы [3]. Во Франции ПДУ для этих элементов составляет 5 и 0,5 мкг/г сухой массы соответственно [3]. В США нормируется только содержание Pb, его ПДУ равен 10 мкг/г сухой массы. Отметим, что во Франции и США установленные нормы касаются морских водорослей, используемых непосредственно в качестве продуктов питания [3].

В России содержание токсичных элементов в морских водорослях и продуктах их переработки регламентировано нормативными документами: СанПиН 2.3.2.1078–01 [10], Техническим

регламентом Таможенного союза 021/2011 [11] и Техническим регламентом Евразийского экономического союза 040/2016 [12]. В этих документах отмечено, что ПДУ Pb в морских водорослях не должен превышать 0,5 мг/кг сырой массы, а для Cd – не более 1,0 мг/кг сырой массы. Для возможности сравнения допустимых уровней токсичных металлов в разных странах и оценки продовольственной безопасности камчатского сырья был выполнен перерасчет нормативных значений на сухую массу водорослей. Учитывая, что в ламинариевых Дальнего Востока содержание сухих веществ варьирует от 10 до 20% [7], ориентировочный диапазон ПДУ Cd и Pb соответствует 2,5–5 мг/кг и 5–10 мг/кг сухой массы соответственно.

Проведенный анализ соответствия полученных данных по содержанию токсичных металлов Pb и Cd в ламинариевых водорослях Камчатки с нормативными значениями ПДУ этих элементов в России в целом не выявил превышений (рис. 1, 2). Так, уровень накопления Pb в пробах водорослей, собранных в 2021 г., изменялся от следовых значений до 7,3 мг/кг сухой массы. Следует отметить, что в единичных пробах *Alaria esculenta* было выявлено превышение содержания ПДУ Pb, однако эти пробы были собраны во внутренней части Авачинской губы у городского побережья (рис. 1). Как известно, именно здесь прибрежные районы испытывают многолетнее антропогенное воздействие, связанное с привнесением в среду различных загрязнителей – металлов, нефтепродуктов, фенолов и СПАВ [13–15].

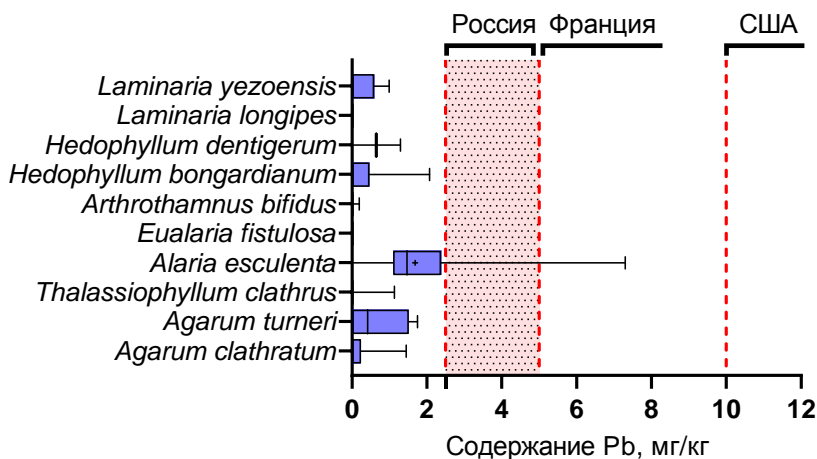


Рис. 1. Содержание Pb (мг/кг сухой массы) в ламинариевых водорослях Камчатки в 2021 г. Дополнительно указаны ПДУ металла, используемые во Франции, ЕС и России

Содержание Cd в водорослях Авачинского залива, собранных в 2021 г., было ниже предъявляемых нормативных значений в РФ и варьировало от следовых количеств до 2,81 мг/кг сухой массы. При этом наиболее высокие средние значения выявлены у представителей семейства Agaraceae – *A. clathratum*, *A. turneri* и *T. clathrus* (рис. 2).

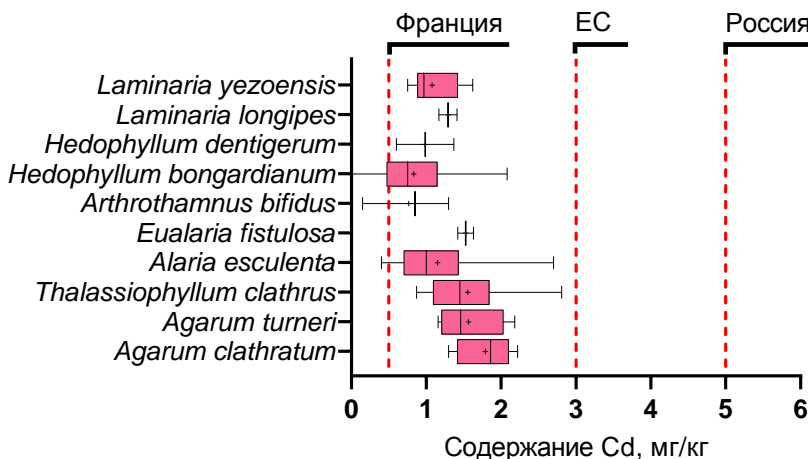


Рис. 2. Содержание Cd (мг/кг сухой массы) в ламинариевых водорослях Камчатки в 2021 г. Дополнительно указаны ПДУ металла, используемые во Франции, ЕС и России

При пересчете у исследованных нами водорослей полученных значений содержания токсичных металлов на сухую массу было отмечено их соответствие установленным в России правилам и нормам содержания Pb и Cd. Большинство проанализированных промысловых видов соответствуют требованиям по содержанию Pb, предъявляемым к морским водорослям как к пищевым добавкам и непосредственно пище в странах Европейского союза. За исключением отдельных проб *Alaria esculenta*, все водоросли по содержанию Cd соответствуют требованиям, предъявляемым в странах Европейского союза к водорослям, которые используются в качестве пищевых добавок. В то же время как самостоятельный пищевой продукт многие из них не могут быть использованы, поскольку содержание Cd превышает ПДУ – 0,5 мг/кг.

### Литература

1. Risks and benefits of consuming edible seaweeds / P. Cherry, C. O'Hara, P.J. Magee, E.M. McSorley, P.J. Allsopp // Nutrition Reviews. – 2019. – Vol. 77 (5). – P. 307–329.
2. Minerals from macroalgae origin: health benefits and risks for consumers / A.R. Circuncisão, M.D. Catarino, S.M. Cardoso, A.M.S. Silva // Marine drugs. – 2018. – Vol. 16 (11). – P. 400. DOI: 10.3390/md16110400.
3. Holdt S.L., Kraan S. Bioactive compounds in seaweed: functional food applications and legislation // Journal of Applied Phycology. – 2011. – Vol. 23. – P. 543–597.
4. FAO and WHO. 2022. Report of the expert meeting on food safety for seaweed – Current status and future perspectives. Rome, 28–29 October 2021. – Food Safety and Quality Series – №. 13. – Rome. <https://doi.org/10.4060/cc0846en>
5. Guiry M.D., Guiry G.M. 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. URL: <http://www.algaebase.org>. (дата обращения: 12.09.2022)
6. Аминина Н.М. Сравнительная характеристика бурых водорослей прибрежной зоны Дальнего Востока. – Известия ТИНРО. – 2015. – Т. 182. – С. 258–268.
7. Бурые водоросли порядков Laminariales и Fucales Сахалино-Курильского региона: запасы, добыча, использование / А.В. Подкорытова, А.Н. Рощина, Н.В. Евсеева, А.И. Усов, А.И. Головин, А.М. Попов // Труды ВНИРО. – 2020. – Т. 181. – С. 235–256.
8. Запасы ламинариевых водорослей бухт восточной Камчатки / О.Ю. Вилкова, В.В. Бадулин, В.Б. Муравьев, С.Е. Акимов // Состояние и динамика запасов водных биологических ресурсов: Материалы Всерос. конф., посв. 80-летию юбилею КамчатНИРО. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2012. – С. 122–128.
9. Донец М.М., Цыганков В.Ю. Современные уровни загрязняющих веществ в промысловых объектах дальневосточных морей России // Вестник ДВО РАН. – 2019. – № 4. – С. 90–103.
10. СанПиН 2.3.2.1078–01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.11.2001.
11. ТР ЕАЭС 040/2016. Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Совет Евразийской экономической комиссии. – 2016. – 135 с.
12. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». Комиссия Таможенного союза. – 2011. – 242 с.
13. Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 205 с.
14. Бурая водоросль *Saccharina bongardiana* как показатель экологического состояния мест нефтяного загрязнения в Авачинской губе (юго-восточная Камчатка) / А.В. Климова, Е.В. Касперович, А.Э. Кусиди, Н.Г. Клочкова. – Вестник КамчатГТУ. – 2014. – Вып. 29. – С. 65–74.
15. Воздействие антропогенного загрязнения на состояние макрофитобентоса в бухте Раковая (Авачинская губа, юго-восточная Камчатка) / Н.Г. Клочкова, А.В. Климова, С.О. Очеретяна, А.Э. Кусиди, Е.В. Касперович // Вестник КамчатГТУ. – 2016. – Вып. 35. – С. 53–64.

УДК 531: 378.147

**В.Ф. Мущанов, С.А. Фоменко**

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
Макеевка, Донецкая Народная Республика, 286123  
e-mail: s.a.fomenko@donnasa.ru*

### **О МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ**

В данной работе представлена краткая информация о становлении методики преподавания дисциплины «Теоретическая механика» в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Указано, что разработанная методика профессора Е.С. Кленцева – это результат многолетнего опыта преподавания дисциплины «Теоретическая механика» студентам строительного вуза. Также отмечено, что в рамках учебно-методической работы кафедры «Теоретическая и прикладная механика» происходит улучшение и дополнение указанной методики. В частности, обсуждаются вопросы дополнения методики с применением компьютерных технологий.

**Ключевые слова:** теоретическая механика, методика преподавания, дистанционное обучение.

**V.F. Mushchanov, S.A. Fomenko**

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Makeyevka, Donetsk National Republic, 286123  
e-mail: s.a.fomenko@donnasa.ru*

### **ABOUT METHODOLOGY OF TEACHING THEORETICAL MECHANICS IN A CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY**

The brief summary about the methodology formation of teaching the discipline "Theoretical Mechanics" in the State Educational Institution of Higher Professional Education "Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture" was presented. It is indicated that the developed methodology of Professor Y.S. Klentsev is the result of many years of experience in teaching the discipline "Theoretical Mechanics" to the students of the civil engineering university. It was also noted that within the framework of the educational and methodological work of the Theoretical and Applied Mechanics Chair the specified methodology is being improved and supplemented. In particular, the issues of supplementing the methodology with the use of computer technologies are discussed.

**Key words:** theoretical mechanics, teaching methods, distance education.

Основная профессиональная образовательная программа высшего образования (бакалавриата) по соответствующему направлению подготовки (далее ОПОП ВО), воплощаемая в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры» (далее ДонНАСА), – это система документов, разработанная и утвержденная с учетом требований рынка труда на основе Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по соответствующему направлению подготовки (квалификация: академический бакалавр, прикладной бакалавр) (Приказ Министерства образования и науки Донецкой Народной Республики) и Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по соответствующему направлению подготовки (Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации), а также, естественно, с учетом рекомендованной профильным учебно-методическим объединением примерной основной образовательной программы (ПрООП).

В ОПОП ВО отражены такие следующие компоненты, как понятные цели, возможные ожидаемые результаты, полное содержание, условия и технологии реализации образовательного

процесса, оценка добротности подготовки выпускника по каждому направлению подготовки. ОПОП ВО содержит в себе: учебный план, рабочие программы дисциплин (модулей), календарный учебный график, программы практик, оценочные и методические материалы, иные компоненты, обеспечивающие реализацию соответствующей образовательной программы.

На основании вышеизложенного и с учетом требуемого стандарта нормативного учебного времени были составлены рабочие программы дисциплины «Теоретическая механика» для соответствующих специальностей.

В настоящее время в ДонНАСА дисциплину «Теоретическая механика» постигают обучающиеся следующих профилей подготовки: промышленное и гражданское строительство; автомобильные дороги; производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций; экспертиза и управление недвижимостью; информационно-стоимостной инжиниринг; проектное управление в строительстве; теплогазоснабжение и вентиляция; городское строительство и хозяйство; водоснабжение и водоотведение; техносферная безопасность; наземные транспортно-технологические комплексы; эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; наземные транспортно-технологические средства.

В стенах вуза выбранные студентами специальности усваиваются посредством очной, заочной и ускоренной форм обучения. В последнее время в силу различных причин практикуется дистанционная форма обучения студентов.

В силу накопленного опыта по насыщению образования актуальными информационно-коммуникационными технологиями можно отметить, что любая программа (государственная либо региональная) не будет в полной мере продуктивной без программных продуктов, обоснованных с педагогической точки зрения, с соответствующим дидактическим наполнением учебных курсов, которые позволят получить высочайшее качество усвоения такого необходимого материала. Мировой опыт проектирования и внедрения в образование систем дистанционного обучения (СДО) (рисунок) характеризуется тем, что затраты на их технико-организационную структуру не всегда являются обоснованными из-за отсутствия наполняемости системы психолого-педагогическим содержанием [1, с. 20].



Электронная информационно-образовательная среда ДонНАСА (<http://dl.donnasa.org>)

В современной педагогике бесспорно важным и одним из основных является такое понятие, как модель обучающегося. Возникновение данного понятия тесно связано с цифровизацией обучения, что привело к необходимости формализовать представление об обучающемся. В связи с этим область психологии и компьютерных технологий обучения вышла на качественно новый уровень, потому что проявилась новая стадия научных исследований в данном направлении. Важно понимать, что в современном мире моделирование процесса обучения и самого обучающегося уже является направлением быстроразвивающегося искусственного интеллекта в обучении (и не только) и объектом исследования психологической науки [2, с. 26].

В конце 90-х – начале 2000-х гг. в ДонГАСА (сейчас ДонНАСА) профессором Е.С. Кленцевым [3] проводились научные исследования и практические разработки, которые затрагивали не только вопросы организации учебного процесса в области фундаментальных и общеобразовательных дисциплин, но и множества направлений дидактики и педагогики в целом. Достаточно обширный наработанный материал лег в основу создания СДО в ДонНАСА (см. рисунок) как по фундаментальным и специальным дисциплинам, так и по дисциплинам гуманитарного цикла. Основой для отработки методики Е.С. Кленцева была дисциплина «Теоретическая механика». Также следует отметить, что структурно-функциональная схема, ее соответствующее дидактическое наполнение и многие педагогические подходы, использованные Е.С. Кленцевым в его практических разработках, легли в основу очень важной модели организации процесса дистанционного обучения будущих специалистов инженерно-строительного профиля [1].

Разработанная методика профессора Е.С. Кленцева – это результат многолетнего опыта осознания и изложения дисциплины «Теоретическая механика» студентам строительного вуза. Каждая тема разработанного курса состоит из семи разделов:

1. Название темы, вопроса теоретической механики.
2. Ключевые слова и понятия.
3. Входная информация для самоконтроля.
4. Содержание темы.
5. Критерии усвоения.
6. Выход темы в другие дисциплины.
7. Тест-контроль для самопроверки.

Более подробная информация о методике профессора Кленцева приведена в работе [4].

В последнее время такая методика применяется сотрудниками кафедры теоретической и прикладной механики (ТиПМ) ДонНАСА при изложении дисциплины «Теоретическая механика».

Также в рамках учебно-методической работы кафедры ТиПМ ДонНАСА происходит улучшение и дополнение методики профессора Е.С. Кленцева. Проработан и представлен материал по теме «Сферическое движение твердого тела», опубликованный в научно-методических изданиях и материалах конференций [5–8].

Совместно с кафедрой наземных транспортно-технологических комплексов и средств механического факультета ДонНАСА создано учебно-методическое пособие «Применение кинематики и динамики твердого тела для расчета механических передач», в котором изложена тема «Сложное движение твердого тела» [9].

В соответствии с договором о сотрудничестве сотрудниками кафедры ТиПМ ДонНАСА совместно с коллегами из ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет» и ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» ведется активная работа по разработке учебно-методических материалов по ряду фундаментальных дисциплин, объединенных под единым названием «Механика». В ходе этой работы уже выполнена первая часть учебно-методического пособия, посвященная дисциплине «Теоретическая механика» [10], которая передана для размещения в электронно-библиотечной системе IPR BOOKS.

Также приятно отметить, что сотрудниками кафедры ТиПМ ДонНАСА совместно с кафедрами «Технологические машины и оборудование» и «Эксплуатация судовых энергетических установок» ФГБОУ ВО «Камчатский государственный технический университет» выполняется совместная научно-исследовательская работа «Уточненные вероятностные и детерминированные методы оценки несущей способности наземных конструкций и сооружений инфраструктуры объектов рыболовной отрасли» в рамках раздела госбюджетной кафедральной работы К-2-07-21 «Исследование напряженно-деформированного состояния и надежности строительных конструкций, их элементов на стадиях проектирования и эксплуатации».

Исходя из вышеизложенного, сделаны выводы:

1. Современная методика обучения дисциплине «Теоретическая механика» – это сочетание классических форм представления материала (методика Е.С. Кленцева) и возможностей актуальных информационно-коммуникационных технологий (электронная информационно-образовательная среда ДонНАСА, проведение занятий посредством видеозвонков и т. д.). Дальнейшее развитие методики неразрывно связано с применением современных цифровых приемов и методов, в частности с включением анимации, видеоматериалов, комплексов компьютерных программ в лекции и практические занятия.

2. Произошло качественное улучшение и дополнение методики Е.С. Кленцева за счет внедрения в излагаемый материал результатов научных и научно-методических разработок кафедры (результаты госбюджетной кафедральной работы, статьи и пособие [5–9]).

3. Еще одним возможным направлением развития методики может быть обобщение рассмотренных частных случаев в отдельных темах теоретической механики в более широкий класс механических явлений.

### Литература

1. *Міклашевич Н.В.* Організація процесу дистанційного навчання майбутніх спеціалістів інженерно-будівельного профілю у вищому навчальному закладі: Дис. канд. пед. наук: 13.00.04 – теорія і методика професійної освіти. Державний заклад «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка». – Луганськ, 2012. – 271 с.

2. *Дилтс Р.* Моделирование с помощью НЛП. – СПб.: Питер, 2000. – 163 с.

3. *Муцанов В.Ф., Стифеев Ф.Ф.* Краткая биография Кленцева Евгения Степановича: Материалы по результатам Междунар. науч.-метод. конф. к 50-летию ГОУ ВПО «ДонНАСА»: Теория и практика организации учебного процесса в образовательной организации высшего образования технического профиля (10 декабря 2021 года). – Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. – Том 2: Экономика, управление и информационные системы в строительстве и недвижимости. – С. 210–212.

4. *Муцанов В.Ф., Гордеев Г.Г.* Современные методики преподавания теоретической механики и традиционная методика профессора Кленцева Е.С., ее дополнение, усовершенствование и использование: Материалы по результатам Междунар. науч.-метод. конф. к 50-летию ГОУ ВПО «ДонНАСА»: Теория и практика организации учебного процесса в образовательной организации высшего образования технического профиля (10 декабря 2021 года). – Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. – В 3 томах. – Том 2: Экономика, управление и информационные системы в строительстве и недвижимости. – С. 212–214.

5. *Илюхин А.А., Гордеев Г.Г.* Теорема о проекциях ускорений точек твердого тела и ее применение для решения задач: Сборник науч.-метод. статей по теоретической механике. – М.: Изд-во Московского университета, 2018. – С. 19–26.

6. *Гордеев Г.Г., Илюхин А.А.* Дополнение к теореме Грасгофа в кинематике твердого тела и его применение к решению задач // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. – Таганрог, 2018. – № 2. – С. 227–231.

7. *Гордеев Г.Г., Илюхин А.А., Фоменко С.А.* Решение задач кинематики сферического движения тела с помощью теорем о проекциях скоростей и ускорений точек тела, сравнение с другими методами // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. – Таганрог, 2018. – № 2. – С. 231–236.

8. *Илюхин А.А., Гордеев Г.Г., Фоменко С.А.* Задачи кинематики сферического движения тела и теоремы о проекциях скоростей и ускорений точек тела // Проблемы механики и управления: Материалы Междунар. конф. (16–22 сентября 2018 г., г. Махачкала) / Под. ред. И.Г. Горячева. – М.: Изд-во Московского университета, 2018. – С. 158–159.

9. *Муцанов В.Ф., Гордеев Г.Г., Корчевский А.Н., Новичков Ю.А.* Применение кинематики и динамики твердого тела для расчета механических передач: Учеб.-метод. пособ. для студентов направлений подготовки 08.03.01 «Строительство», 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», 21.05.04 «Горное дело». – Донецк – Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», ГОУ ВПО «ДонНТУ», 2022. – 160 с.

10. Механика. Часть 1. Теоретическая механика: Учеб.-метод. пособ. по курсу «Механика» для студентов строительных и технических вузов / С.Н. Царенко, А.В. Костенко, В.Ф. Муцанов, С.А. Фоменко, А.В. Лукичев, Ю.В. Петтик. – Макеевка: ГОУ ВПО «ДонНАСА», 2022. – 421 с.



УДК 504.5(571.66-25)

**Б.И. Новосадов**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: startghss11@gmail.ru*

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ОТРАБОТАННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГОРОДЕ ПЕТРОПАВЛОВСКЕ-КАМЧАТСКОМ**

Развитие современного общества неизбежно связано с возрастающим спросом на различные потребительские товары, в том числе и те, для эксплуатации которых требуются гальванические источники электропитания. Отработавший свой ресурс гальванический элемент является высокотоксичным отходом производства и представляет потенциальную опасность для окружающей среды, здоровья и жизни человека. В статье предлагается структура эффективной общественной системы сбора и утилизации отработанных гальванических элементов. Освещаются некоторые проблемы, связанные с организацией контроля за обращением данного вида опасных отходов и предлагаются пути их решения.

**Ключевые слова:** опасные отходы, бытовые отходы, гальванический элемент, утилизация, переработка, экологическая безопасность.

**B.I. Novosadov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: startghss11@gmail.ru*

### **ORGANIZATION OF PUBLIC SYSTEM FOR COLLECTING WASTE GALVANIC ELEMENTS IN PETROPAVLOVSK-KAMCHATSKY**

The development of modern society is inevitably associated with an increasing demand for various consumer goods, including those that require galvanic power supplies to operate. A waste galvanic element is a highly toxic production waste and does a potential hazard to the environment, human health and life. The structure of an effective public system for the collection and disposal of spent galvanic elements is suggested. Some problems associated with the organization of control over the circulation of this type of hazardous waste are highlighted and ways to solve them are proposed.

**Key words:** hazardous waste, household waste, galvanic element, utilization, recycling, environmental safety.

Гальванический элемент – это химический источник электрического тока, основанный на взаимодействии двух металлов или их оксидов в электролите, приводящем к возникновению в замкнутой цепи электрического тока. В повседневной жизни гальванические элементы принято называть батарейками, и они стали важным элементом обеспечения различных технологий, используемых современным человеком на бытовом, а иногда и промышленном уровне. Спектр применения батареек достаточно широк и охватывает области применения от детских игрушек до использования в системах управления бытовых, офисных и производственных устройств. Однако отработанные батарейки представляют высокую потенциальную опасность для человека и окружающей среды.

Исследования показывают, что одна батарейка, попавшая в окружающую среду, может загрязнить до 20 м<sup>3</sup> земли и 400 литров воды. В большинстве случаев отработанные гальванические элементы просто выбрасываются вместе с бытовым мусором.

В результате агрессивного воздействия окружающей среды корпус батарейки разлагается, утрачивает герметичность и опасные химические элементы, в состав которых входят кадмий, олово, ртуть и другие, попадают в окружающую среду [1, 2].

В результате только в Петропавловске-Камчатском неутилизированные гальванические элементы питания загрязняют более 3 км<sup>2</sup> земли в год и более 1,5 млн тонн воды.

Ежегодно в России продается более одного миллиарда батареек, и эта цифра растет каждый год. Поэтому на фоне большого распространения гальванических элементов питания и роста их производства существует проблема организации их централизованного сбора и дальнейшей утилизации.

В настоящее время вопросами переработки мусора в г. Петропавловске-Камчатском занимаются несколько организаций. В частности, вопросами сбора и дальнейшей утилизации люминесцентных и энергосберегающих ламп, аккумуляторов, и в том числе отработанных гальванических элементов, занимается компания ООО «Экология». С этой целью на некоторых местах сбора мусора в Петропавловске-Камчатском компания разместила специальные оранжевые контейнеры. Внешний вид типового контейнера представлен на рис. 1.

Однако как показывает опыт, данная система сбора работает неэффективно, особенно в части отработанных батареек. Население продолжает их выбрасывать вместе с бытовым мусором, не сортируя батарейки как опасный вид отходов. Такой неконтролируемый процесс представляет серьезную экологическую опасность [3, 4].

Для решения этой проблемы предлагается организовать общественный сбор отработанных гальванических элементов с привлечением широкого круга населения, прежде всего молодежи, в том числе волонтеров.

Основная идея данного проекта заключается в общественном контроле сбора отработанных батареек, передачи их специализированной компании и дальнейшей отправки на предприятия переработки. При достаточных объемах сбора гальванических элементов их переработка становится рентабельной для предприятий переработки, что повышает эффективность данного процесса. По предварительной оценке рентабельности, проведенной на базе ООО «Феникс», которое занимается переработкой мусора в г. Петропавловске-Камчатском, определено значение рентабельности от 200 до 500 кг отработанных элементов в месяц.

В связи с этим требуется организация точечного сбора батареек на всей территории города. Целесообразно организовать массовое размещение специальных ящиков для сбора батареек и агитационного материала в подъездах жилых домов, дошкольных учреждениях, школах, средних и высших учебных заведениях, супермаркетах и магазинах бытовой техники, а также в офисах отдельных предприятий и организаций [5, 6].

Организация пробных точек сбора гальванических элементов показала эффективность использования для этих целей компактных контейнеров наподобие почтовых ящиков с наглядной агитацией. Доступность точки сбора, ежедневный визуальный контакт с информацией о необходимости утилизации гальванических элементов как опасного вида отходов стимулируют процесс цивилизованного извлечения отработанных батареек из окружающей среды. Пример контейнера в точке сбора представлен на рис. 2.



Рис. 1. Типовой контейнер для сбора ламп и батареек



Рис. 2. Ящик общественного сбора отработанных батареек

Сбор батареек по ящикам и доставка в центральный пункт приема мусороперерабатывающих предприятий может осуществляться как управляющими компаниями, так и при высоком уровне организации и росте экологического сознания волонтерами и общественными представителями. В ходе этого процесса возможно проведение соревнований по активности сбора батареек как среди волонтеров, так и среди школ, учебных заведений и организаций с награждением и поощрением победителей.

Основным результатом организации общественного сбора отработанных гальванических элементов является снижение общего количества опасных отходов в составе ТБО. Учитывая уровень опасности данного вида отхода, речь идет о сохранении от загрязнения больших территорий, миллионов кубометров воды и окружающей воздушной среды. По предварительным подсчетам функционирование данной системы сбора позволит ежегодно безопасно утилизировать до 5 тонн гальванических элементов. Нейтрализация такого количества химически активных элементов предотвратит масштабное загрязнение окружающей среды и повысит уровень экологической безопасности городской и прилегающей территории [7, 8].

Следует учитывать, что затраты на утилизацию данного вида отходов компенсируются перерабатывающим предприятиям приобретением ценных материалов, востребованных в различных отраслях промышленности. В условиях тенденции сокращения мировых запасов полезных ископаемых и возрастающей трудоемкостью их добычи и переработки этот фактор может стать определяющим в развитии данного направления. В перспективе обращение гальванических элементов, как и большинства других видов опасных отходов, должно быть переведено на замкнутый цикл. При этом немалую роль в этой системе по-прежнему будет играть организация сбора отработанных элементов. Поэтому внедрение системы общественного сбора отработанных гальванических элементов, ее развитие и совершенствование являются актуальной задачей и перспективным направлением.

Одним из вариантов совершенствования данной системы может стать автоматизация контроля за обращением гальванических элементов. При соответствующем подходе такая автоматизированная система может быть интегрирована в систему общественного сбора отработанных гальванических элементов. Это обеспечит 100%-ный сбор и переработку данного вида отходов, и тем самым будет реализован замкнутый цикл обращения гальванических элементов.

При этом важным элементом этой системы в любом случае остается человеческий фактор. Подготовка общества с высокой степенью экологического сознания является длительным и трудоемким процессом. Эффективность этого процесса также зависит от многих факторов, в том числе от общего вовлечения населения в систему общественного сбора отработанных гальванических элементов. В первую очередь это касается молодежи, так как ее вовлечение в общественные процессы обеспечивает необходимый рост интенсивности этих процессов и формирует устойчивую базу, необходимую для перевода этой системы на следующий, более высокий уровень общественного сознания.

В связи с этим актуальность реализации подобных проектов состоит в необходимости привлечения к решению важных экологических проблем широких масс общественности с параллельным воспитанием и привитием экологической культуры дошкольникам, школьникам и студентам [9, 10].

## Литература

1. *Сергеев А.Г.* Влияние литиевых источников тока на окружающую среду в сравнении с другими распространенными источниками тока // Тезисы доклада 2 совещания по литиевым источникам тока. – Саратов, 1992. – № 2. – С. 11–15.
2. *Миклушевский В.В.* Утилизация литиевых химических источников тока // Экология и промышленность России. – М., 2002. – № 4. – С. 23–34.
3. *Белов О.А., Швецов В.А.* К вопросу о повышении экологической безопасности судов при долговременном стояночном режиме // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2018. – С. 119–121.
4. *Белов О.А.* Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – Ч. 1. – С. 5–9.
5. *Белов О.А.* Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 11–16.
6. *Белов О.А., Парфенкин А.И.* Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – № 35. – С. 11–14.

7. *Кричковская М.П., Белов О.А.* Оценка возможности снижения количества пластиковых пакетов в составе ТБО (на примере г. Петропавловска-Камчатского) // Наука, образование, инновации, пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 26–28.

8. *Белов О.А.* Состояние электроэнергетики Камчатского края и перспективы ее развития // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2021. – Т. 21. № 4. – С. 48–56.

9. *Белов О.А., Белова Е.П.* Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.

10. *Белов О.А., Толстова Л.А.* Моделирование процесса обучения курсантов для формирования навыков технической эксплуатации // Вестник Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 3 (16). – С. 78–81.

УДК 004:378.147

**Е.А. Степанова**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: len\_sta@rambler.ru*

**ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ  
«ИНЖЕНЕРНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ГРАФИКА»**

Рассмотрены возможности использования современной системы проектирования AutoCAD в учебном процессе. Описаны особенности интерактивных занятий по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика», приведены примеры заданий, порядок их выполнения и преподавания. Показаны работы студентов в результате освоения учебной дисциплины.

**Ключевые слова:** AutoCAD, двухмерное, трехмерное моделирование, автоматизированное создание изображений.

**E.A. Stepanova**

*Kamchatsky State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: len\_sta@rambler.ru*

**EXPERIENCE IN TEACHING THE DISCIPLINE  
“ENGINEERING AND COMPUTER GRAPHICS”**

The possibilities of using the modern design system Auto CAD in the educational process are considered. The features of interactive lessons in the discipline «Engineering and computer graphics» are described, examples of tasks, the order of their implementation and teaching are given. The students works as a result of mastering the academic discipline is shown.

**Key words:** AutoCAD, two-dimensional, three-dimensional modelling, the automated creation of images.

Различают несколько моделей обучения: пассивная – студент слушает и смотрит; активная – студент самостоятельно выполняет работы и творческие задания; интерактивная – процесс обучения осуществляется в условиях постоянного взаимодействия всех субъектов обучения.

На сегодняшний день основные методические инновации связаны с применением интерактивных методов обучения. Совместная деятельность студентов в процессе освоения учебного материала означает, что каждый вносит свой индивидуальный вклад, идет обмен идеями, знаниями. Интерактивное обучение ставит целью создание комфортных условий обучения, вовлеченность студентов в процесс обучения. Интерактивные формы работы способствуют установлению эмоциональных контактов между студентами, вчерашними школьниками, снимают нервную нагрузку, помогая испытать чувство взаимопонимания и собственной успешности. Интерактивные методы развивают мышление студентов, побуждают к высказыванию своих соображений, анализу алгоритмов решений, стремлению к нахождению лучших вариантов решения учебных задач, отстаиванию своего мнения.

Невозможно представить процесс обучения без применения современных интерактивных технологий. Это не только взаимодействие всех субъектов обучения, но и новая ступень организации учебного процесса, элементами которого выступают мультимедиа-проектор, персональные компьютеры. Мультимедиа-проекторы универсальны: к ним можно подключить любые компьютерные источники (персональный или портативный компьютер, компьютерную сеть, карты сменной памяти). Использование на уроках мультимедийного проектора поднимает процесс обучения на качественно новый уровень.

В технических высших учебных заведениях при составлении учебных планов для специальностей и направлений подготовки бакалавров существует два подхода к изучению графических дисциплин.

Первый подход подразумевает изучение графических дисциплин в течение трех семестров. Начертательная геометрия изучается в первом семестре, инженерная графика – во втором семестре первого курса, а компьютерная графика изучается один семестр на старших курсах. Второй подход подразумевает изучение разделов «Начертательная геометрия», «Инженерная графика» и «Компьютерная графика» в курсе одной дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» в одном семестре на первом курсе.

Каждый из этих трех разделов содержит значительный объем теоретического материала и достаточно сложен для освоения студентами, учитывая объем учебных аудиторных часов. Задача еще более усложняется тем, что в учебном плане предусмотрено изучение дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» на первом курсе, а студент только адаптируется после школьных уроков к особенностям обучения в высшей школе. К тому же отсутствие предмета «черчение» в обязательной программе средней образовательной школы вынуждает объяснять студентам даже правила пользования чертежными инструментами.

Если изучать последовательно и отдельно разделы «Начертательная геометрия», «Инженерная графика» и на завершающем этапе «Компьютерная графика», то выделенных учебных часов недостаточно. Так как традиционное выполнение чертежей с использованием чертежного инструмента требует больших затрат времени.

Современные интерактивные технологии дают возможность сократить время на изучение материала за счет наглядности и быстроты выполнения работы.

При составлении учебной программы по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика» предусмотрено первым изучение раздела «Компьютерная графика». В этом разделе студенты изучают основы работы в графическом редакторе AutoCAD, выполняя лабораторные работы на компьютерах по созданному автором статьи учебному изданию «Лабораторный практикум «Инженерная и компьютерная графика»» [1, 2].

Цель лабораторных работ: приобретение навыков установки рабочего пространства, настройки режимов рисования, умение открывать и закрывать файлы, задавать координаты, создавать примитивы (линии, окружности, дуги и т. д.) (рис. 1, а), выполнение штриховки (рис. 1, б), нанесение размеров (рис. 2, а), редактирование чертежей (копирование, поворот, вытягивание, деление, отсечение части объекта, перенос, выполнение фасок, сопряжений) (рис. 2, б), создание слоев, размерных и текстовых стилей и др.

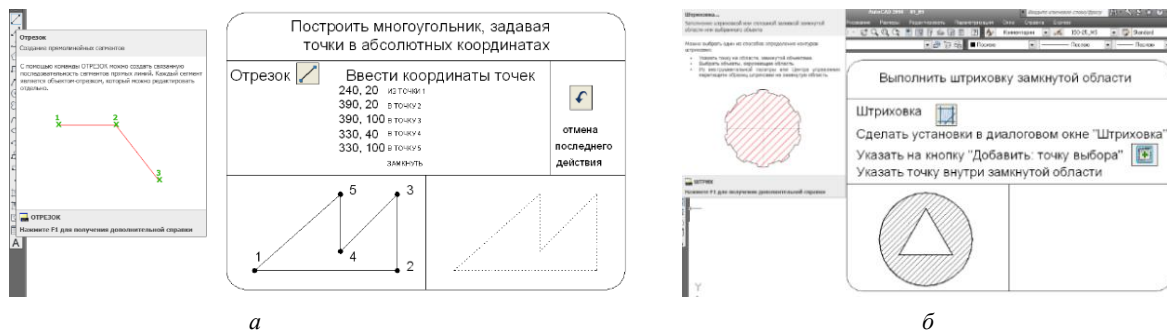


Рис. 1. Упражнение по созданию примитивов (а) и по выполнения штриховки (б)

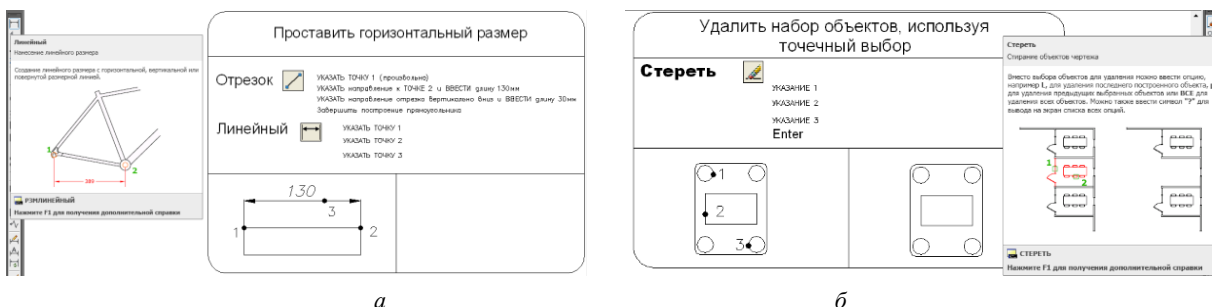


Рис. 2. Упражнение по нанесению размеров (а) и по редактированию (б)

Лабораторные работы содержат подробные инструкции; таким образом, студенты имеют возможность, самостоятельно выполняя упражнения, приобретать навыки работы в качестве пользователей графической программы AutoCAD. Как правило, студенты с большим интересом осваивают возможности программы AutoCAD, работая на компьютере, стремятся справиться самостоятельно, делаясь с товарищами полученными навыками выполнения команд и при необходимости обращаясь за консультацией к преподавателю.

Завершает раздел «Компьютерная графика» выполнение лабораторной работы «Геометрическое моделирование», цель которой – приобретение студентами навыков вычерчивания контура 2D-модели в программе AutoCAD.

Этапы выполнения чертежа с пояснениями даны в лабораторной работе. Тем не менее в начале занятия выполняется чертеж контура 2D-модели в программе AutoCAD. Студенты могут увидеть компьютерную технологию создания чертежа от первой линии до нанесения размеров, масштабирования осевых линий, заполнения основной надписи и вывода чертежа на печать. Простота и скорость выполнения чертежа (которая зависит от предварительно продуманного алгоритма действий), как правило, восхищает студентов. Автор предлагает студентам делать видеозапись выполнения чертежа на телефоны, и в дальнейшем они имеют возможность просмотреть те этапы выполнения чертежа, которые вызвали затруднения.

Использование мультимедийного проектора на лабораторном занятии позволяет представлять информацию не статичной озвученной картинкой, а интерактивным процессом вычерчивания контура 2D, что значительно повышает познавательный интерес студентов и эффективность усвоения материала. Современному молодому человеку намного интереснее воспринимать информацию именно в такой форме.

После завершения лабораторной работы студенты выполняют расчетно-графические работы по индивидуальным заданиям. Команды создания примитивов и редактирования чертежа, которые используют студенты, аналогичны тем, что они применяли при выполнении лабораторной работы: отрезок, окружность, сопряжение, круговой массив, линейный размер, радиус, диаметр, многострочный текст и т. д. Но чертежи абсолютно разные, и учащимся необходимо самостоятельно продумать алгоритм действий при выполнении контура 2D-модели. Студенты делятся между собой вариантами алгоритмов выполнения контура 2D-модели, ищут наиболее эффективный, чтобы как можно быстрее выполнить чертеж.

Изучение раздела «Начертательная геометрия» всегда вызывает затруднения у студентов. Одна из основных задач начертательной геометрии – научить видеть в изображении не набор линий, а представлять в своем пространственном воображении трехмерную модель.

При традиционном изучении дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» (когда раздел «Начертательная геометрия» стоит первым) студенты выполняют аксонометрические проекции. Цель аксонометрических проекций – дать наглядное изображение, по которому легче представить форму предмета, чем по его чертежу. Но построение аксонометрической проекции модели достаточно трудоемкий процесс, иногда более затратный по времени, чем выполнение проекций (построение точек с помощью координатной ломаной, расчет большой и малой осей эллипсов).

Когда раздел «Начертательная геометрия» идет после раздела «Компьютерная графика», студенты теоретически изучают аксонометрические проекции (так как вопросы в федеральных тестах никто не отменял). Но имеют возможность использовать твердотельное моделирование для создания пространственных моделей. Пространственную модель можно рассмотреть с любой стороны и из любой точки пространства, что позволяет студентам получить более наглядное представление о модели. Твердотельное моделирование осваивается студентами довольно быстро и привносит элемент игры, творчества в процесс изучения дисциплины. Любую модель сколь угодно сложной геометрической формы можно создать из простейших тел (ящик, цилиндр, конус, сфера, пирамида, клин, тор), если воспользоваться булевыми операциями, к которым относятся сложение, вычитание и пересечение тел.

Трехмерное компьютерное моделирование используется студентами при выполнении индивидуальных вариантов заданий расчетно-графических работ для облегчения выполнения проекций геометрических фигур (рис. 3).

Некоторые студенты увлекаются трехмерным моделированием, уделяя особое внимание системам координат, определяющим положение трехмерной точки в пространстве, и их преобразованию,

методам визуализации, изменению положения трехмерных объектов в пространстве (вращение, перенос, копирование, зеркальное отображение и т. д.) и в личное время выполняют творческие работы, не предусмотренные курсом «Инженерной и компьютерной графики» (рис. 4).

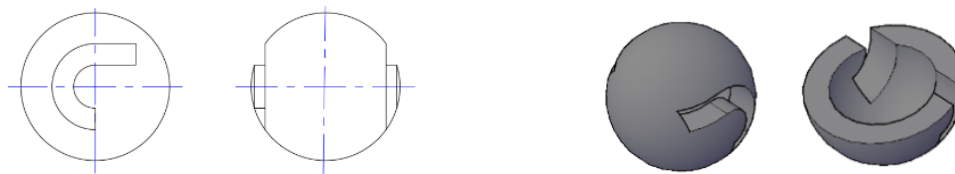


Рис. 3. Твёрдотельная модель и ее проекции



Рис. 4. Творческие работы студентов

Одним из практических применений знаний по твердотельному моделированию явилась помощь студентов в создании плаката (фото по твердотельной модели) для учебно-тренажерного центра КамчатГТУ.

При изучении раздела «Инженерная графика» первый и последующие чертежи выполняются с использованием графического редактора AutoCAD. Благодаря этому экономится время, связанное с созданием изображений рамки, ограничивающей поле чертежа и основной надписи, изображений различных графических объектов с различными типами линий, нанесением размеров, штриховки и другое [3, 4].

В базовый комплект продукта AutoCAD включены программы на AutoLISP, которые помогают скомпоновать в пространстве листа чертеж трехмерной модели. То есть студент в случае затруднений при выполнении расчетно-графической работы, связанной с вычерчиванием необходимых видов и разрезов модели, всегда может создать пространственную модель и преобразовать ее в плоские виды, разрезы, которые необходимы для формирования плоского чертежа.

В то же время необходимо учитывать: ничто так не помогает развивать пространственное воображение, умение выполнять, читать и оформлять чертеж, как ручное черчение. Поэтому одну из расчетно-графических работ студенты выполняют в виде эскизов на листах в клетку по деталям с резьбой, входящим в сборочную единицу. Каждый студент получает индивидуальную сборочную единицу и выполняет эскизы деталей в необходимом и достаточном для понимания формы и размеров количестве изображений, определяет по шагу и диаметру тип резьбы, обмеряет деталь и проставляет размеры. Студент приобретает навыки выполнения от руки эскизов деталей с натуры, развивает умение анализировать форму детали, расчленяя ее на отдельные геометрические поверхности, приобретает навыки использования измерительных инструментов и овладение приемами обмера элементов деталей, углубляет и расширяет знания о правилах выполнения чертежей, изложенных в стандартах ЕСКД, изучает правила определения, обозначения, изображения резьбы, приобретает понятия о простановке размеров с учетом производственных требований: размерные базы, способы нанесения линейных и угловых размеров, ознакомление со стандартами на размеры некоторых элементов деталей (рис. 5, а) [5].

Некоторые студенты затрудняются выполнить «мысленный разрез» детали, не умеют отобразить внутренний контур детали, которую буквально держат в руках. В действительности разрезать деталь и показать студенту внутреннее устройство не представляется возможным. И тут на помощь приходит твердотельное моделирование (рис. 5, б)



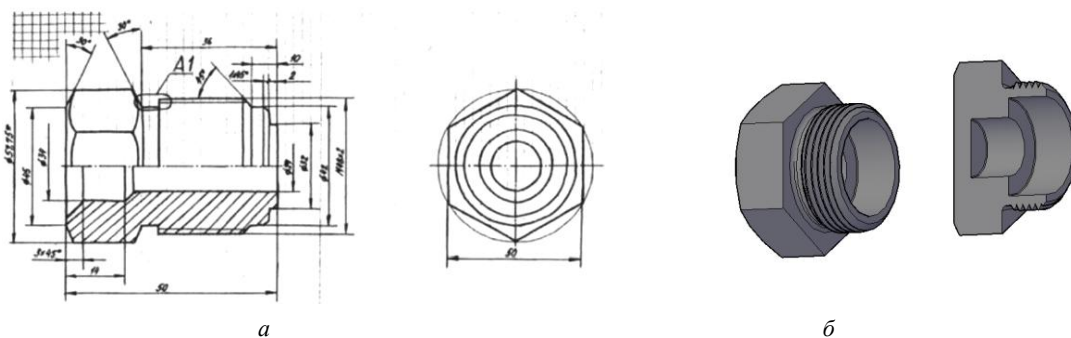


Рис. 5. Эскиз детали (а) и твердотельная модель детали (б)

По эскизам деталей сборочной единицы студенты выполняют чертежи в программе AutoCAD, а затем просто собирают (переноса, поворачивая, зеркально отображая, обрезая и удлиняя контур) из них сборочный чертеж, руководствуясь правилами выполнения и оформления сборочных чертежей установленными ГОСТ 2.109-73. Возможность быстро исправить ошибку, переделав сборочный чертеж, делает студента более свободным в принятии решения и повышает увлеченность в выполнении работы. В процессе выполнения работ студенты общаются между собой, помогают друг другу советами и, конечно же, в трудных случаях обращаются за помощью к преподавателю.

В случае дистанционного проведения занятий в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) в личном кабинете по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика» для каждой специальности и направления бакалавриата находятся написанные автором статьи учебные издания: конспект лекций, лабораторный практикум, методические указания к изучению дисциплины. По каждому разделу расписаны лекции и лабораторные работы. Так как при дистанционном обучении студентам не представляется возможность выдать реальные сборочные единицы для выполнения эскизов отдельных деталей, студенты получают индивидуальные варианты с рисунками деталей и макетом их сборки.

Каждое лабораторное занятие начинается с методических рекомендаций по zoom-конференции. Во время zoom-конференции при совместном использовании экрана так же, как при очном занятии в аудитории, выполняется чертеж контура 2D-модели в программе AutoCAD. Студенты могут увидеть компьютерную технологию создания чертежа от первой линии до вывода чертежа на печать. Лекции дистанционно также проводятся во время zoom-конференции: либо демонстрацией объяснения теоретического материала у доски в аудитории, либо при совместном использовании экрана по созданной преподавателем презентации, имеющей необходимые для объяснения иллюстрации.

По разделу «Начертательная геометрия», темам «Общие правила выполнения чертежей», «Изображения», «Резьба. Виды изделий. Конструкторские документы. Сборочный чертеж» в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) созданы тесты. Для проведения экзаменов в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) размещены варианты экзаменационных задач.

Включение интерактивных технологий делает процесс обучения результативнее. Главный результат – это готовность студентов к творчеству, потребность в получении новых знаний и ощущение самостоятельности. Процент успеваемости и качество знаний растут вместе с интересом студентов к дисциплине.

### Литература

1. Габидулин В.М. Трехмерное моделирование в AutoCAD 2014. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 280 с.
2. Орлов А. AutoCAD 2013. – СПб.: Питер, 2013. – 384 с.
3. Полищук Н.Н. Самоучитель AutoCAD 2014. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 464 с.
4. Хейфец А.Л. Инженерная компьютерная графика. AutoCAD: Учеб. пособ.: рек. Мин. обр. РФ. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 316 с.
5. Чекмарев А.А. Инженерная графика (машиностроительное черчение): Учеб.: рек. НМС. – М.: ИНФРА-М, 2009. – 396 с.

УДК 678.027.3:691.175

**И.А. Яблуновский, А.О. Рогожников**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: iliya12345xs@gmail.com*

### **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО ПОЛИМЕРНОГО СЫРЬЯ МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ**

Качественная переработка вторичного сырья на основе полимерных отходов имеет большое экологическое и экономическое значение. В качестве наиболее перспективного метода переработки вторичных полимеров рассматривается метод экструзии, позволяющий получить качественный и востребованный вторичный продукт в виде филамента для 3D-печати. Разработка и внедрение таких компактных и эффективных перерабатывающих комплексов требует всестороннего анализа технологии переработки и особенностей организации данного производства. В статье рассмотрены основные виды экструдеров и проведен анализ их исключительных свойств, обращается внимание на возможность существенно улучшить экологическую обстановку. Описаны основные режимы работы экструдера и базовые условия применения данной технологии в лабораторных условиях.

**Ключевые слова:** переработка пластика, экструдер, вторичная переработка, метод экструзии.

**I.A. Yablunovski, A.O. Rogozhnikov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: iliya12345xs@gmail.com*

### **ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY FOR SECONDARY POLYMER RAW MATERIALS PROCESSING BY EXTRUSION METHOD**

High-quality processing of secondary raw materials based on polymer waste is of great environmental and economic importance. The extrusion method is considered as the most promising method for processing secondary polymers, which makes it possible to obtain a high-quality and popular secondary product in the form of a filament for 3D printing. The development and implementation of such compact and efficient processing complexes requires a comprehensive analysis of the processing technology and the specifics of the organization of this production. The main types of extruders and their exceptional properties, which draws attention to the possibility of significantly improving the environmental situation are discussed. The main operating modes of the extruder and the basic conditions for the use of this technology in laboratory conditions are described.

**Key words:** plastic recycling, extruder, secondary processing, extrusion method.

На современном этапе развития технологий переработки пластика при правильном подходе к утилизации пластиковых отходов можно добиться высокой эффективности различных форм предпринимательской деятельности, связанной с подготовкой и реализацией актуальных проектов в области переработки бытовых пластиковых отходов. Таким образом, усовершенствованные модели организационной деятельности способствуют созданию новых и улучшению старых методов и способов любых технологических процессов. Переработка пластика в наши дни имеет широкую научную и практическую базу и играет важную роль в формировании экологического облика современного производства и обеспечения безопасности окружающей среды [1, 2].

Для того чтобы переработать пластиковые отходы и изготовить высококачественную нить для 3D-печати в условиях небольшой лаборатории, следует разобраться в принципах работы и устройстве, основанного на методе экструзии. Экструдер – устройство для переработки пластиковых отходов путем их измельчения и нагревания и последующего преобразования в готовый материал [3].

Схема технологического процесса экструзии и общий вид типового устройства экструдера представлены на рис. 1.

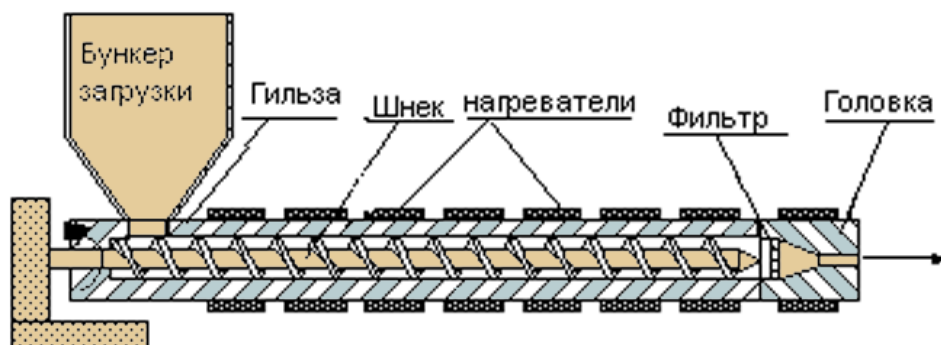


Рис. 1. Общая схема типового экструдера

Принцип работы современного экструдера можно разделить на несколько этапов, где первым будет являться загрузка ранее измельченного пластика в загрузочную воронку. Далее пластик из воронки попадает в нагревательную камеру, в которой он в процессе плавки и под действием шнека превращается в однородную массу. Стоит отметить важные функции шнека, а именно под его действием сырье уплотняется, что будет способствовать однородности готовой нити для печати. На выходе через формирующий инструмент – фильеру – получится готовая нить определенного диаметра и сечения (рис. 1). Чтобы не повредить горячую нить на выходе из сопла, необходимо применять охлаждение. После этого нить проходит через узел протяжки, тем самым нити придается стабильное сечение. И завершающим этапом является намотка уже готовой нити на катушку, виток к витку для компактного хранения [4].

Для реализации представленной технологии разработана конструкция типового экструдера. Самым значимым элементом данного устройства является шнек, приводимый в действие электродвигателем с номинальным напряжением 220 В через червячные редукторы. Шнек должен быть изготовлен из прочной и твердой стали, а также должен иметь высокую теплопроводность и теплоемкость. Это обуславливается тем, что рабочие температуры варьируются в районе 300 градусов Цельсия. Корпус экструдера выполняется из стальной трубы, внутренний диаметр которой совпадает с диаметром шнека (рис. 1). Далее корпус разделяется на загрузочную и нагревательную часть, которые, в свою очередь, разделены термобарьером [5, 6].

Загрузочная часть (бункер загрузки) является сварной конструкцией, состоящей из трубы, имеющей паз, в который устанавливается воронка для загрузки измельченного пластика. Нагревательная часть представляет из себя стальную трубу, на конце которой имеется резьба для накручивания втулки с фильерой. Рядом с ней располагается нагревательный элемент с номинальным напряжением 220 В. В нагревателе установлен датчик температуры, служащий для регулировки, так как разные пластики требуют разных температур.

После фильеры располагается технологический узел контроля провисания нити, который работает в паре с узлом протяжки. Данный узел позволяет стабилизировать диаметр прутка, выходящего из фильеры. Горячая нить провисает под собственным весом, выходя из фильеры. При этом чем больше она провисает, тем толще ее диаметр, и соответственно, при более интенсивном натяжении нити механизмом узла протяжки диаметр нити уменьшается.

После того как горячий пруток выходит из зоны провисания нити, следует зона охлаждения, в этой зоне пластик затвердевает и принимает окончательную форму. Эффективность технологического процесса зависит от организации системы охлаждения и обогрева. Охлаждение, как правило, бывает двух видов – это жидкостное и воздушное. Водяное охлаждение обеспечивается подачей холодной воды во внутренние полости шнека. Такая система включает в себя насос, теплообменник, охладитель, расширительный резервуар, фильтры по всему контуру охлаждения, контрольно-измерительные приборы. Воздушный же способ, являющийся на данный момент самым распространенным, представляет из себя обычный вентилятор, обдувающий необходимые элементы для охлаждения. Далее остывшая нить попадает в узел протяжки, в котором происходят движение нити, а также контроль ее провисания. Узел контроля протяжки представляет собой, как правило, стойку с валами, между которыми проходит нить, как показано на рис. 2.

Завершающим этапом будет являться намотка стабильной нити на катушку. Барабан намотки обеспечивается датчиком равномерной намотки нити без запутывания. Важно плотно наматывать нить на катушку и не спутать ее, так как эта же катушка будет установлена на 3D-принтер для изготовления необходимых деталей. Общий вид барабана намотки представлен на рис. 3.

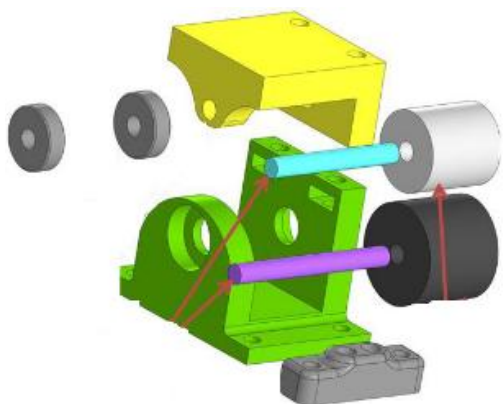


Рис. 2. Схема узла контроля протяжки нити

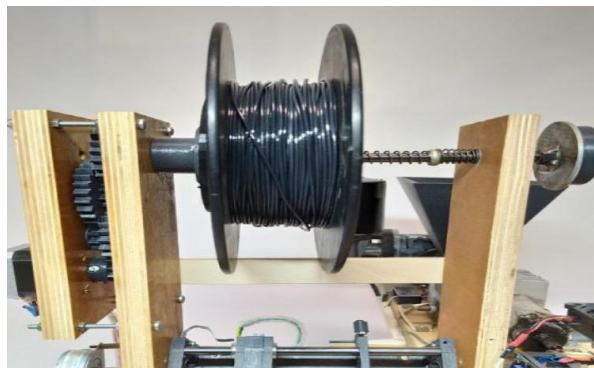


Рис. 3. Общий вид барабана намотки

Отдельно следует рассмотреть подготовку материала к процессам переработки. Перед переработкой следует тщательно вымыть перерабатываемый материал, удалить всю грязь и пыль. На перерабатываемом пластике не должно оставаться наклеек, винтов, пружин и т. д. Пластик, покрытый снаружи лаками или красками, нельзя допускать к переработке, так как это приведет к многочисленным засорам фильеры. Крупные части пластика дробятся на более мелкие. Идеально подготовленный пластик к переработке должен быть размером с гранулы [7].

Лучшими пластиками для переработки являются пластики маркировок «1», «2», «4», «5», где полиэтилентерефталат – PETE (1); высокоплотный полиэтилен – PEHD или HDPE (2); низкоплотный полиэтилен – LDPE или PEVD (4); полипропилен – PP (5). Остальные типы пластиков не подлежат переработке, а если и подлежат, то их переработка становится более трудоемкой и более ресурсозатратной. Пластики вышеперечисленных маркировок используются для изготовления пищевых бутылок, а также бутылок бытовой химии, одноразовой посуды, стаканчиков и т. д.

Все эти бытовые отходы могут быть переработаны в нить для печати, из которой современные принтеры могут напечатать детали практически любой формы и сложности. Внедрение повсеместного использования экструдеров существенно улучшит экологическую и экономическую ситуацию, в том числе (учитывая уровень загрязнения Мирового океана) и в области эксплуатации морского транспорта [8–11].

Таким образом, разработка и внедрение высокоэффективного экструдера имеет большое практическое значение. Во-первых, данная технология позволяет обеспечить востребованным расходным материалом для 3D-печати учебные и научные лаборатории, сократить затраты на реализацию проектов. Во-вторых, доступность расходного материала расширяет возможности применения 3D-печати, обеспечивает доступность данной технологии на всех этапах научной, учебной, технической и творческой деятельности. И в-третьих, немаловажным фактором является частичное решение проблемы переработки пластиковых отходов и тем самым повышение экологической безопасности окружающей среды. Приобретение опыта разработки и внедрения установок данного типа в технологический процесс будет способствовать развитию и совершенствованию методов переработки вторичного полимерного сырья в качественную востребованную продукцию. Кроме того, важным фактором реализации данной технологии становится возможность эффективного материально-технического обеспечения проектной и научной деятельности курсантов мореходного факультета в ходе учебного процесса.

### Литература

1. Кричковская М.П., Белов О.А. Оценка возможности снижения количества пластиковых пакетов в составе ТБО (на примере г. Петропавловска-Камчатского) // Наука, образование,

инновации, пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 26–28.

2. *Белов О.А., Швецов В.А.* К вопросу о повышении экологической безопасности судов при долговременном стояночном режиме // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2018. – С. 119–121.

3. *Свиридов, А.С.* Малогабаритный экструдер для переработки пластиковых отходов // Наука без границ. – 2021. – № 1 (53). – С. 30–35.

4. *Исаков К.С., Гарматий Н.И., Соболева Л.В.* Система производства материала для 3D-печати из переработанного пластика // Завалишинские чтения: сборник докладов XVII Международ. конф. по электромеханике и робототехнике (12–14 апреля 2022 г.) – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 170–172.

5. *Яворский Ю.И., Власенко О.М.* Разработка автоматизированной системы управления процессом экструзии // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2020): Материалы Всерос. науч. конф. молодых исследователей с междунар. участием. – М., 2020. – С. 136–139.

6. *Маковский А.И.* Рациональное использование вторичных пластиков путем их рециклинга в филамент для 3D-печати // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Материалы XIII Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (16–17 апреля 2019 года). – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. – С. 209–212.

7. *Березкин И.С.* Проблемы переработки пластиковых отходов и теоретическое обоснование создания альтернативных технологий переработки пластика // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2016. – № 2 (57). – С. 37–41.

8. *Белов О.А.* Техническое обеспечение морских судов как фактор эффективной и безопасной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Четвертой междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2022. – С. 5–9.

9. *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. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 80–83.

10. *Белов О.А.* Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – Ч. 1. – С. 5–9.

11. *Белов О.А., Белова Е.П.* Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.

УДК 678.027.3:691.175

**И.А. Яблуновский**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: iliya12345xs@gmail.com*

## **ОБЩАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ В ФИЛАМЕНТ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ**

Увеличение количества пластиковых отходов представляет собой большую проблему на современном этапе развития общества. Загрязнению пластиковыми отходами подвергается не только суша, но в еще большей степени мировой океан. Этот процесс подрывает экологическую безопасность, наносит существенный экономический ущерб, а также влияет на безопасность мореплавания. В статье проведен анализ всех современных видов пластиков и их исключительных свойств. На основании данного анализа сделаны выводы о том, как максимально эффективно перерабатывать пластиковые отходы в условиях малой лаборатории. Рассмотрена проблема переработки и повторного использования полимерных отходов посредством применения малогабаритного экструдера. Переработанные пластиковые отходы предлагается использовать как материал для 3D-печати.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, классификация полимеров, переработка пластика, метод экструзии, виды пластиков, свойства пластиков.

**I.A. Yablunovski**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: iliya12345xs@gmail.com*

## **GENERAL ASSESSMENT OF WASTE PLASTIC RECYCLING INTO FILAMENT FOR 3D PRINTING**

The increase in the amount of plastic waste is a big problem at present stage of society development. Not only the land is exposed to plastic waste pollution, but the world's oceans too. This process undermines environmental safety, causes significant economic damage, and also affects the safety of navigation. All modern types of plastics and their exceptional properties were analyzed. Based on this analysis, conclusions were drawn on how to process plastic waste as efficiently as possible in a small laboratory. The problem of recycling and reuse of polymer waste through the use of a small-sized extruder is analyzed. Recycled plastic waste is proposed to be used as a material for 3D printing.

**Key words:** environmental safety, classification of polymers, plastic processing, extrusion method, types of plastics, properties of plastics.

В современном мире переработка пластиковых отходов имеет большую актуальность, так как одна из самых больших экологических, социальных и технических проблем на сегодняшний день – это загрязнение планеты различными видами отработанного пластика. Количество пластика в океанах также растет, что в конечном итоге сказывается как на промышленном рыболовстве, так и на безопасности мореплавания в целом [1–4].

Основная масса производимого пластика используется для изготовления различных видов упаковки. Факторы низкой цены, малой массы, эстетичности, удобства и безопасности являются определяющими в использовании пластиковой упаковки. Доля упаковки в общем производстве пластиковых изделий превышает 50%. При этом именно пластиковая упаковка имеет весьма короткий срок использования по назначению, который составляет, как правило, не более одного года. Этот фактор способствует быстрому накоплению пластиковых отходов с интенсивностью примерно 100 кг/год на одного человека. С учетом низкой скорости разложения полимерных материалов пластиковые отходы представляют реальную опасность для окружающей среды [5].

В среднем период разложения пластика составляет около четырехсот лет. Если уже в наши дни не начать перерабатывать пластиковые отходы, то в ближайшем будущем человечеству некуда будет складировать пластик. Сжигание пластика является малоэффективным способом утилизации. Такая переработка приносит вред природе из-за парникового эффекта, поэтому в современных условиях внедрение замкнутого цикла производства могло бы принести максимальную пользу человечеству в решении социальных и экологических проблем [6].

Решение вопросов экологической безопасности связано со значительными материальными и финансовыми затратами. Этот фактор особенно проявляется при переработке пластиковых отходов, так как затраты в сравнении с утилизацией других видов бытовых и промышленных отходов возрастают в несколько раз. Причиной этой проблемы являются специфические особенности полимерных материалов, требующие особых подходов и более совершенных технологий их переработки.

Вместе с тем проблемы переработки пластиковых отходов при соответствующем подходе являются вполне решаемыми. Однако чтобы определить оптимальную технологию переработки пластика, необходимо разобрать его индивидуальные особенности и выявить основные характеристики.

Пластиковые изделия после использования сохраняют все свои изначальные свойства, поэтому вторичная переработка пластика может существенно сократить сырьевые затраты предприятий, тем самым в конечном итоге уменьшится себестоимость производства продукции.

Все современные пластики имеют свою маркировку, разработанную в конце двадцатого столетия. Она представляет из себя треугольник, внутри которого есть цифра от одного до семи, в зависимости от типа пластика. Примеры маркировки пластиковых изделий приведены на рис. 1.



Рис. 1. Принятая маркировка пластиковых изделий

Разделение пластика согласно представленной маркировке служит для упрощения его сортировки. На данный момент существуют следующие виды пластика: полиэтилентерефталат – PETE (1); высокоплотный полиэтилен – PEHD или HDPE (2); поливинилхлорид – PVC (3); низкоплотный полиэтилен – LDPE или PEBD (4); полипропилен – PP (5); полистирол – PS (6); все другие виды пластика – OTHER – O (7).

**PET/PETE.** Один из самых распространенных пластиков. Он безопасен и безвреден, но предназначен для разового использования. Преимущественно из него производят упаковки воды, соков, молока, йогуртов, кефира и т. д. Данный вид пластика подлежит переработке, за исключением отдельных случаев, связанных с соприкосновением его в процессе эксплуатации с проникающими средами, оказывающими существенное влияние на его физическую структуру.

**PEHD/HDPE.** Эти пластики имеют низкую степень опасности и практически не выделяют вредных веществ. Используются для производства упаковок молока, соков, средств бытовой химии, игрушек, некоторых пластиковых пакетов, одноразовой посуды, косметики и ряда другой продукции. Подлежит переработке.

**PVC.** Мягкий и гибкий пластик. Применяется для упаковок растительного масла, игрушек, блистерных упаковок, пластиковых труб, оконных рам, шлангов. При сжигании выделяет диоксин – высокотоксичное вещество, имеющее негативное влияние на гормональный баланс, а также репродуктивную и иммунную системы.

**LDPE/PEBD.** Почти безвредный пластик, который можно использовать повторно. Из него делают пакеты и пищевую пленку. Данный вид пластика подлежит переработке.

**PP.** Этот пластик безопасен и безвреден. Он используется несколько раз, применяется для производства пакетов для хлеба и круп, детских сосок, стаканчиков для йогуртов, упаковки для детского питания, подгузников, прокладок, пищевых контейнеров, трубочек для напитков, игрушек. Подлежит переработке.

**PS.** По-другому полистирол называют пенопластом. Не рекомендуется использовать его повторно, так как при повторном использовании и нагревании полистирол выделяет опасные

химические соединения, в частности стирол. Соответственно, этот вид пластика не годится для хранения горячих напитков, еды. Подлежит переработке.

O/OTHER. Это все прочие виды пластика, такие как: полиамид, поликарбонат и другие виды пластмасс. Применимы они для прозрачных одноразовых столовых приборов, детских бутылочек, бутылок для кулера и многоразовых бутылок для воды, игрушек, тюбиков для зубной пасты, пакетов для выпечки, компакт-дисков. Переработке данный вид пластика не подлежит [7].

Из представленной классификации и анализа основных свойств полимерных пластиков видно, что большинство из них подлежит переработке. Так как основой для пластиковой продукции является материал, получаемый из нефти, то разработка новых технологий получения вторсырья – актуальная задача и одно из перспективных направлений утилизации пластиковых отходов. Структура пластиковых отходов представлена на рис. 2.

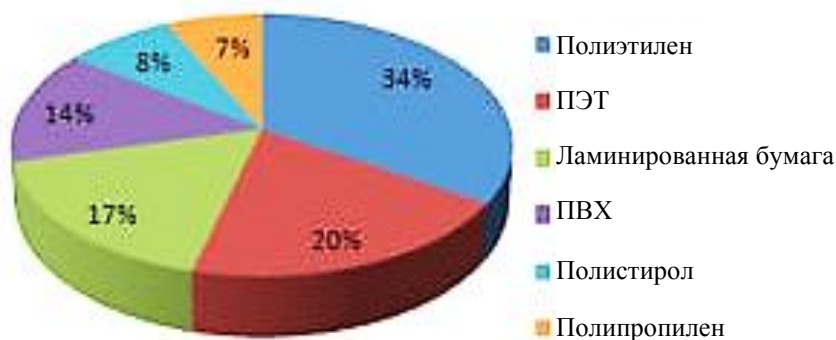


Рис. 2. Структура пластиковых отходов по видам полимеров

На данный момент существует немало количество методов и технологий переработки пластика, таких как повторная экструзия, механическая переработка, а также повторное использование химических веществ или использование термических методов, генерирующих энергию (сжигание, пиролиз, газификация и т. д.).

Применение механического метода является наиболее эффективным, так как при его использовании происходит повторное вовлечение материалов в производственный процесс, таким образом существенно снижается загрязнение окружающей среды. Данный метод переработки пластика делится на экструзию и инжекцию, где экструзия – это процесс получения изделий из полимерных материалов путем продавливания расплава материала через формующее отверстие в экструдере, а инжекция – процесс переработки пластмасс путем впрыска расплава полимера под давлением в литьевую форму с последующим его охлаждением. Следовательно, наиболее простым и менее трудоемким, а самое главное – легко воспроизводимым методом, будет являться экструзия. Это обосновывается тем, что существенно упрощается конструкция прибора и сам технологический процесс, так как нет необходимости работать с высокими давлениями. Экструдер в совокупности с небольшими эксплуатационными расходами будет обладать высоким уровнем производительности [8].

Переработка пластика методом экструзии в условиях небольшой лаборатории будет происходить посредством переработки пластиковых отходов в нить для 3D-печати. В наши дни актуальность использования 3D-принтеров как никогда востребована. Используя 3D-принтеры, можно печатать практически любые детали. Поэтому следует выяснить, пластики каких маркеров лучше всего использовать. Пластики маркеров «1», «2», «4», «5» можно с легкостью перерабатывать в нити филамента для 3D-печати. Пластики с маркировкой «6» и «7» будут требовать более профессионального оборудования [9].

Для более эффективной и быстрой переработки должен быть выполнен ряд подготовительных работ. Отходы должны быть отсортированы и подготовлены к переработке. После сортировки следует промывка, предназначенная для очистки перерабатываемого пластика от различных полимерных отходов. Здесь стоит уделить особое внимание утилизации промывочного материала в сточные воды. Отсортированный и очищенный пластик готов к переработке, но для того чтобы ускорить и облегчить процесс, можно предварительно измельчить пластик в гранулы.



Пластик в гранулах будет проще переработать шнеку экструдера, что будет влиять на однородность и стабильность толщины нити для печати. Нить одного сечения будет ощутимо влиять на качество напечатанной детали. Изделия, напечатанные такой нитью, будут обладать хорошими механическими качествами и практически не будут отличаться от деталей, сделанных из широко распространенных пластиков.

Данная разработка будет иметь огромное экологическое значение, так как половина бытовых отходов приходится на пластик и большая его часть может быть подвержена многократной переработке. Применение данной технологии позволит снизить затраты на расходные материалы для 3D-печати и соответственно расширит возможности применения 3D-принтеров для решения различных технических задач. Полученный с помощью данной технологии материал планируется использовать для изготовления узлов деталей, прототипов и макетов в рамках проектной деятельности курсантов и студентов. Это важно не только с экологической и экономической точек зрения, но также является важным фактором подготовки технических кадров и формирования инженерного мышления у курсантов и студентов мореходного факультета [10].

### Литература

1. Белов О.А. Техническое обеспечение морских судов как фактор эффективной и безопасной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Четвертой междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2022. – С. 5–9.

2. Белов О.А., Зайцев С.А. К вопросу оценки безопасности морских судов камчатского флота // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 80–83.

3. Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – Ч. 1. – С. 5–9.

4. Белов О.А., Швецов В.А. К вопросу о повышении экологической безопасности судов при долговременном стояночном режиме // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы IX Всерос. науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2018. – С. 119–121.

5. Кричковская М.П., Белов О.А. Оценка возможности снижения количества пластиковых пакетов в составе ТБО (на примере г. Петропавловска-Камчатского) // Наука, образование, инновации, пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 26–28.

6. Березкин И.С. Проблемы переработки пластиковых отходов и теоретическое обоснование создания альтернативных технологий переработки пластика // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2016. – № 2 (57). – С. 37–41.

7. Маковский А. И. Рациональное использование вторичных пластиков путем их рециклинга в филамент для 3D печати // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: Материалы XIII Междунар. науч. конф. аспирантов и студентов (16–17 апреля 2019 года). – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2019. – С. 209–212.

8. Исаков К.С., Гарматий Н.И., Соболева Л.В. Система производства материала для 3D-печати из переработанного пластика // Завалишинские чтения: Сборник докладов XVII Междунар. конф. по электромеханике и робототехнике (12–14 апреля 2022 г.) – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. – С. 170–172.

9. Свиридов А.С. Малогабаритный экструдер для переработки пластиковых отходов // Наука без границ. – 2021. – № 1 (53). – С. 30–35.

10. Белов О.А., Белова Е.П. Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 106–108.

## СПИСОК ОРГАНИЗАЦИЙ – УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ И ИХ АДРЕСА

286123, Донецкая Народная Республика, 286123, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2  
Тел.: +38 (062) 343-70-33  
E-mail: mailbox@donnasa.ru

**ГОУ ВПО «Донецкая академия гражданской защиты»**  
283050, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Розы Люксембург, д. 34а  
Тел.: +38(062) 332-17-01  
E-mail: agz@mail.dnmchs.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

**Военно-морской политехнический институт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени адмирала флота Советского Союза Н.Г.Кузнецова»**  
196604, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский бульвар, д. 1  
Тел.: +7 (812) 465-39-95; +7 (812) 465-27-00  
E-mail: vunc-vmf-vmii@mil.ru

**ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»**  
450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12  
Тел.: + 7 (987) 254-38-29  
E-mail: info@ugatu.su

**ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»**  
690087, Приморский край, г. Владивосток, ул. Луговая, д. 52 Б  
Тел.:+ 7 (423) 244-03-06  
E-mail: office@dgtru.ru

**ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»**  
г. Калининград, Советский проспект, д. 1  
Тел.:+7 (0112) 99-59-01  
E-mail:rector@klgtu.ru

**ГОУ ВО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»**  
91034, Луганская Народная Республика, г. Луганск, квартал Молодежный, д. 20А  
Тел.: +7 (0642) 34-48-28; 34-48-48  
E-mail: dal.univer@yandex.ru

**ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН»**  
683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, д. 30  
Тел.: +7 (4152) 49-54-35  
E-mail: nigtc@nigtc.ru

**ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»**  
198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, д. 5/7  
Тел.: +7 (812) 748-96-92, +7 (812) 748-96-93  
E-mail: otd\_o@gumrf.ru

**Филиал Ухтинского государственного технического университета**  
169710, Республика Коми, г. Усинск, ул. Нефтяников, д. 33  
Тел.: +7 (82144) 29-1-74  
E-mail: mail@ugtu.net

Ответственный за выпуск  
*О.А. Белов*

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:  
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы  
Пятой международной научно-технической конференции  
(18–21 октября 2022 г.)*

В авторской редакции  
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Подписано в печать 30.11.2022 г.  
Формат 60\*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman  
Авт. л. 15,91. Уч.-изд. л. 16,71. Усл. печ. л. 18,6  
Тираж 100 экз. Заказ № 10

Издательство  
Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком издательства КамчатГТУ  
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35