

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

IX МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «МОРСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ. БЕЗОПАСНОСТЬ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ»

IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "MARINE TECHNOLOGY AND ENGINEERING. SAFETY OF THE MARINE INDUSTRY"

СЕКЦИЯ «НАВИГАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ ПРОМЫСЛА»

SECTION "NAVIGATION AND FISHING SAFETY"

<i>Бондарев В.А., Бондарева О.М., Рагулина И.Р., Жестовский А.Г.</i> Информационная безопасность интеллектуальных систем морских судов	5
<i>Гуральник Б.С., Сирота А.К., Ковалишин П.Ю.</i> О точности определения инерционного коэффициента рыболовных судов по требованиям конвенции ОНС 2008 г.	15
<i>Гуральник Б.С., Тимофеев В.К., Сирота А.К.</i> Некоторые проблемы эксплуатации без экипажных судов, связанные с перевозкой грузов	20
<i>Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н.</i> Навигационные аварии столкновения контейнеровозов на ограниченных глубинах в узкостях	25
<i>Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н.</i> Навигационные аварии столкновения контейнеровозов на ограниченных глубинах в узкостях, оценка сопряженных факторов	30
<i>Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н.</i> Навигационные аварии столкновения судов, стесненных глубиной и узкостью (четыре типа: танкеры, балкеры, контейнеровозы, генеральные грузы)	34
<i>Ермаков С.В., Малинин Н.Ж.</i> Анализ методики оценки навигационной безопасности судна при плавании по фарватеру	39
<i>Ермаков С.В., Морозова С.Ю.</i> Анализ процедуры передачи дел штурманским составом при смене экипажей.....	44
<i>Лобкова К.Э., Мойсеенко С.С.</i> Методы оценки рисков в управлении морским портом.....	51
<i>Михайлов Д.М., Абрамов В.И.</i> Кибербезопасность морских информационных систем: особенности и экономические риски.....	59
<i>Сатин В.В., Кубрин С.С., Иванов И.М.</i> К вопросу повышения безопасности расхождения встречных судов на основе совместного использования радиолокационной станции и автоматической идентификационной системы	64
<i>Сатин В.В., Кубрин С.С., Яппаров Е.Р.</i> Оценка точности измерения горизонтальной составляющей магнитного поля дефлектором колонга на берегу и в море	68
<i>Степаненко Д.П.</i> Система иридиум и ее судовое оборудование в ГМССБ	74
<i>Тимофеев В.К., Якута И.В., Киценко В.Н.</i> Подготовка учебно-методической документации с учетом новых конвенционных компетенций по учебным дисциплинам кафедры безопасности мореплавания.....	79
<i>Щеглов В.А.</i> Исследование параметров транспортного потока на примере ул. Инженерной г. Калининграда для реализации адаптивного регулирования движения автомобилей.....	87

СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОСТРОЙКИ И РЕМОНТА СУДОВ»

SECTION "INOVATIVE METHODS IN SHIP DESIGN, CONSTRUCTION AND REPAIR"

<i>Базаров Д.А., Тристанов А.Б.</i> Этапы технического состояния и оценочная характеристика методов вибродиагностики подшипников качения	93
<i>Бураковский Е.П., Бураковский П.Е., Юсын В.М.</i> Влияние курсового угла судна на его гидродинамические характеристики в условиях захвата его носовой оконечности волной	99
<i>Дектярев А.В., Зобов П.Г., Гришин П.Р., Морозов В.Н.</i> Анализ применимости элементов объектов морской техники к аддитивному изготовлению и их дальнейшие перспективы развития	104
<i>Лукьянова О.О., Дятченко С.В.</i> Определение основных элементов и характеристик тунцеловного судна на ранних стадиях его проектирования.....	116
<i>Назаров А.Г.</i> Подходы к оценке прочности и расчетные нагрузки для маломерных рыболовных судов	122
<i>Притыкин А.И.</i> Влияние перфорации на частоту свободных колебаний балок	130
<i>Шевурдяев А.С.</i> Оценка влияния производственных элементов условий труда на выбор технологии изготовления секций корпусов судов.....	136

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ»

SECTION "ELECTRICAL SYSTEMS OF THE MARINE INDUSTRY OBJECTS"

<i>Алексеев Н.А., Виноградов А.А., Кудрявцев Ю.В.</i> Системы возбуждения и цифровые регуляторы напряжения судовых бесщеточных генераторов	143
<i>Белей В.Ф., Решетников Г.А., Брижак Р.О.</i> Исследование влияния высших гармоник на функционирование электрооборудования судовых электроэнергетических систем.....	150
<i>Благинин В.А., Волкогон В.А., Кажекин И.Е.</i> Экспериментальное подтверждение противокоррозионного защитного эффекта от применения на судах компенсаторов КГТУ	158
<i>Власов А.Б., Буев С.А.</i> Поиск новых методов диагностики текущего технического состояния кабельной сети судна	163
<i>Геллер Б.Л.</i> Вычисление активной мощности в промышленном контроллере	168
<i>Кажекин И.Е.</i> Формирование максимального напряжения смещения нейтрали при несимметрии фазных емкостей	173
<i>Кажекин И.Е., Филиппов Е.А., Кугучева Д.К.</i> Исследование процессов старения изоляции при ее увлажнении.....	178
<i>Коптяев Е.Н.</i> Контроль сопротивления изоляции потребителей в судовых электроэнергетических системах	184
<i>Nikitas Nikitakos, Ковалишин П.Ю., Никишин А.Ю., Харитонов М.С.</i> Перспективы использования искусственного интеллекта в морских портах для борьбы с изменением климата.....	190
<i>Никишин А.Ю., Харитонов М.С., Зубавичюс Р.В.</i> Перспективы технологии регулирования графика нагрузки для снижения затрат морского порта	196
<i>Павликов С.А.</i> Программа управления компрессором.....	203
<i>Романовский В.В., Лебедев А.И.</i> Применение технологии цифровых двойников для снижения аварийности высоковольтных трансформаторов систем электродвижения судов ледового плавания.....	207

<i>Русаков С.М.</i> Автоколебательные процессы в системах автоматического регулирования частоты вращения судовых дизель-генераторных и валогенераторных установок	213
<i>Чижда С.Н., Стригин И.В., Молчанов С.В.</i> Синхронно-векторная система определения режимов и параметров систем электроснабжения	219
<i>Шабалин Л.Д., Савенко А.Е., Савенко П.С.</i> Выбор и расчет электропривода грузоподъемного устройства в машинном отделении на примере контейнеровоза «CHRISTA SCHULTE»	227

СЕКЦИЯ «СУДОВЫЕ И СТАЦИОНАРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»

SECTION "SHIP AND STATIONARY POWER PLANTS"

<i>Александров И.С., Герасимов А.А., Плавич А.Ю.</i> Термодинамические свойства компонентов органических энергоносителей. Этилциклогексан	238
<i>Волкова Л.Ю., Закиров С.З., Дорош К.С.</i> Разработка прибора для определения хода иглы распылителей судовых дизелей.....	245
<i>Ковальчук Л.И., Ткаченко К.С.</i> Комплекс экспериментально-теоретических моделей для контроля технического состояния компонентов судовых дизелей, обеспечивающих качественное сгорание топлива в рабочих цилиндрах	253
<i>Кошелев С.В., Сластихин Ю.Н., Ейдеюс А.И.</i> Разработка экспериментальной установки для исследования роста инея на поверхности воздухоохладителя.....	257
<i>Кункевич С.В.</i> Об интеграции Delphi и Mathcad	265
<i>Кункевич С.В., Ермаков А.Ю.</i> Сравнительный анализ функционала CAE систем при решении задач прочностного анализа элементов энергетического оборудования, проектируемого с помощью САД.....	272
<i>Никифоров А.С., Приходько Е.В., Кинжибекова А.К., Карманов А.Е.</i> Повышение надежности работы котельных агрегатов по условиям эксплуатации элементов обмуровки	278
<i>Ореховский Е.М., Толмачев А.В.</i> Поверочный расчет муфтового соединения гребного вала	283
<i>Филонов А.Г., Толмачев А.В.</i> Об особенностях прочностных расчетов элементов судовых энергетических установок в соответствии с правилами Российского морского регистра судоходства	289
<i>Юрков С.В., Несмачных Н.А.</i> К вопросу о создании ПГУ малой мощности с высоконапорным парогенератором.....	295
<i>Юрков С.В., Несмачных Н.А.</i> Утилизационный турбокомпрессор для ПГУ малой мощности с высоконапорным парогенератором.....	303
<i>Юрков С.В., Филиппова В.М.</i> Оптимизация параметров комбинированной парогазовой установки на базе водородной STIG-технологии ГТУ	316

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО»

SECTION "COMMERCIAL FISHING"

<i>Долин Г.М.</i> Устойчивое управление мировым рыболовством	328
<i>Долина В.М.</i> Пути социализации бизнеса в рыбной отрасли	332
<i>Коновалова К.В., Недоступ А.А., Ражев А.О.</i> Проектирование синтетических шнуров, обслуживание и эксплуатация.....	338
<i>Лесникова Е.Г., Гавриш Ю.В.</i> Основные параметры определения эффективности эксплуатации судов за период с 2011 по 2020 годы в Калининградской области	343
<i>Макуха Е.О., Львова Е.Е., Суконнов А.В., Суконнова Т.Е.</i> Процесс латексирования как один из способов повышения износостойких качеств рыболовных нитевидных материалов	348

<i>Мартынов А.Н., Недоступ А.А.</i> Постановка задачи экспериментального исследования статического коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа.....	353
<i>Насенков П.В.</i> Коэффициент Пуассона для рыболовных материалов	358
<i>Недоступ А.А., Линзеев В.А., Акбутаев А.А.</i> Экспериментальные исследования фрикционного взаимодействия (сцепления) синтетических ниток и веревок о поверхность барабана.....	364
<i>Недоступ А.А., Макаров В.В., Ражнев А.О.</i> Управление масштабным эффектом при выполнении физического подобия процесса погружения сферы.....	372
<i>Недоступ А.А., Ражнев А.О.</i> Минимизация масштабного эффекта при мультифизическом подобии тралового комплекса	379
<i>Недоступ А.А., Ражнев А.О., Насенков П.В., Мандрыкин Э.А., Сысенко В.В.</i> Метод мультифизического подобия управления траловым комплексом в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис».....	384
<i>Ражнев А.О., Недоступ А.А.</i> Разработка методов управления траловым комплексом с применением предсказательного моделирования на нейронной сети	389
<i>Соколова Е.В.</i> Состояние закидного неводного лова в Российской Федерации и перспективы его развития.....	395
<i>Суконнов А.В., Суконнова Т.Е., Скуратов Н.А.</i> Теоретическая подготовка и обоснование экспериментальных работ по определению зависимости усилия подъёма траловых мешков с уловом.....	404

СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

SECTION "RADIOPHYSICS, RADIO ENGINEERING AND INFORMATION SECURITY"

<i>Бабаева А.А.</i> Особенности механизмов аудита информационной безопасности SCADA-систем АСУ предприятия	409
<i>Власова К.В., Пахотин В.А., Петров С.В., Симонов Р.В.</i> Потенциальные возможности систем связи с ограниченной частотной полосой каналов.....	415
<i>Власова К.В., Пахотин В.А., Симонов Р.В., Бессонов В.А.</i> К вопросу оптимальности методов обработки сигналов	420
<i>Волхонская Е.В., Коротей Е.В., Власова К.В.</i> Оценка влияния ширины рабочего диапазона частот на направленные свойства логопериодического облучателя	425
<i>Воробейкина И.В., Подтопельный В.В.</i> Особенности использования фреймов для решения задач аудита информационной безопасности автоматизированных систем.....	430
<i>Коротей Е.В., Пахотин В.А., Симонов Р.В., Молостова С.В.</i> Оптимальный приемник для раздельного обнаружения сигналов.....	435
<i>Подтопельный В.В.</i> Особенности формирования базы признаков для инструментов интеллектуального аудита информационной безопасности инфраструктуры АСУТП	440
<i>Холоденин Д.В.</i> Имитация процесса отображения информации эхолотом в графической среде программирования LabView.....	446

СЕКЦИЯ «НАВИГАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ МОРЕПЛАВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ ПРОМЫСЛА»

SECTION "NAVIGATION AND FISHING SAFETY"

УДК 004.056

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ МОРСКИХ СУДОВ

¹Бондарев Виталий Александрович, д-р техн. наук, проф., декан судоводительского факультета, профессор кафедры судовождения

²Бондарева Ольга Михайловна, канд. психол. наук, ст. преподаватель кафедры судовождения

³Рагулина Изумруд Рамазановна, канд. геогр. наук, доцент кафедры безопасности мореплавания

⁴Жестовский Александр Георгиевич, доцент кафедры информационной безопасности

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹va.bondarev@gmail.com; ³izragulina@mail.ru;

⁴alex.zhestovskiy@mail.ru

Представлены общие сведения об информационной безопасности: системе основных составляющих информационных данных, типах их защиты и методах информационной безопасности. Определены функциональные элементы, способствующие эффективному управлению киберрисками в морской отрасли. Выявлены угрозы, влияющие на безопасность интеллектуальных систем морских судов.

1.1 Общие сведения об информационной безопасности

Информационная безопасность – это практическая деятельность, направленная на предупреждение неразрешенного доступа, применения, обнаружения и преобразования данных. Внутренние и внешние информационные угрозы могут причинить непоправимый ущерб различным электронным системам. Защита информации – совокупность юридических, технических и организационных способов предупреждения несанкционированных действий с данными. Она устанавливается в информационных системах и характеризуется комплексом мер и действий, которые направлены на защиту данных от постороннего влияния.

В информационную систему входят такие элементы [1, 2, 3]:

1. субъекты – владельцы информации и механизмов (инфраструктуры);
2. база – компьютерные помещения, различные системы (электропитание), линии связи, экипаж.

Проникновение в информационное пространство – это открытое (иногда латентное) действие, которое специально или по стечению обстоятельств, влияет на объект защиты, что приводит к утечке или раскрытию информации.

Безопасность информационных технологий базируется на следующих вводных:

1. Зачем, кого и что защищать?
2. От каких внешних и внутренних факторов уберегать?
3. Каким способом осуществлять защиту от угрозы?
4. Элементы безопасности информации.

Основные составляющие информационной безопасности – это совокупность элементов, которая включает открытость, конфиденциальность и целостность информационных ресурсов и поддерживающей инфраструктуры. К числу элементов безопасности часто относят защиту от несанкционированного доступа, являющуюся ключевой составной частью защищенности данных.

Рассмотрим систему основных составляющих информационных данных [2, 3]:

Доступность – это признак, разрешающий пользователям в определенных случаях беспрепятственно получить интересующую их информацию. Исключением являются данные, скрытые от всеобщего обозрения, разглашение которых может нанести серьезный ущерб субъектам и информации. Например, доступными являются материалы, которые может получить каждый член экипажа: выход в интернет через судовую систему спутниковой связи, ознакомление с судовой документацией (SMS-code, food safety plan и т.д.).

Целостность – один из элементов информации, гарантирующий ее стабильность при намеренном (ненамеренном) преобразовании или уничтожении определенных данных. Она бывает статической (стабильность основных объектов от первоначального состояния) и динамической (точная реализация последовательных действий). Если будет нарушено единство информации, это может привести к серьезным негативным последствиям. Эта характеристика является основной и актуальной в информационном пространстве.

Конфиденциальность – основное свойство, разрешающее доступ к информации исключительно юридически правомочным субъектам: персонально члену экипажа (личные документы, расчетные листы), лицам, назначенных компанией для выполнения определённых задач, а так же платформам (программам) и процессам.

Составляющие информационной безопасности не могут функционировать без соблюдения основных принципов, к которым относятся [2, 3]:

- простота использования;
- контроль за операциями;
- разграничение доступа.

Каждое звено информационной безопасности имеет ключевое значение для всей системы. Нет разграничения, что секретность данных наиболее значима, а другие принципы занимают низшие позиции. Для всех субъектов информационных отношений, которые используют информационную систему, данные должны быть доступными, целостными и конфиденциальными.

Информационные объекты составляют определенную систему. К ним относятся [2, 3]:

- различные виды медийных ресурсов (данные, зафиксированные на материальных носителях, с возможностью их идентификации);
- преимущества (права) членов экипажей, работников компании, клиентов, юрлиц и государственных органов на распространение и владение данными;
- системы формирования социальной ответственности в использовании данных.
- составляющие информационной системы делятся на группы по видам:
- с исключительной возможностью входа, с публичным доступом;
- другая доступная информация;
- неправдивая информация (не имеет правовой основы).

Данные с исключительным доступом защищают сведения, являющиеся тайными в различных сферах безопасности компании. Угроза таких данных может нанести серьезный экономический вред владельцам судна, техническому и информационному судовому оборудованию. Целью конфиденциальной информации является ограничение доступа лиц к данным, юридический режим которых установлен специализированными нормативными актами.

Немаловажное значение имеют методы сохранности информации. Обеспечение кибербезопасности данных – ключевая задача для сохранения, сбережения, неиспользования посторонними лицами важной для судоходной компании информации. При утечке информации происходит неконтролируемое увеличение потоков данных, использование которых может негативно отразиться на расходах компании.

Существуют два типа защиты: формальные и официальные. Формальные сохраняют информацию без личного участия человека в процессе защиты (программное обеспечение, техсредства).

Неформальные регламентируют действия человека (правила, документы, различные мероприятия).

К формальным способам относятся [2, 3]:

– физические – электрические, механические, электроустройства, функционирующие независимо от информсистем;

– аппаратные – зрительные, электронные, лазерные и иные устройства, встроенные в информсистемы, специализированные компьютеры, системы по наблюдению за сотрудниками, препятствующие доступу к сведениям;

– программные (DLP-, SIEM-системы);

– специфические (криптографические, стенографические – обеспечивают безопасную передачу сведений в корпоративной и глобальной сети).

К неформальным способам относятся:

– Законодательные (законы флага судна)

– Организационные

– Этические

Законодательные – это императивные нормы, которые прописаны в законах, подзаконных актах. Они регламентируют порядок эксплуатации, анализа и передачи информации, ответственность при нарушении каких-либо принципов и правил использования данных. Законодательные нормы распространяются на все субъекты отношений.

Организационные – общетехнические, юридические процедуры, являющиеся обязательными на всем жизненном цикле системы информации. Это возможности организации, которые помогают функционированию системы. К ним относят сертификацию системы и ее элементов, аттестацию объектов и субъектов.

Этические – это принципы морали, правила этики, которые исторически сложились в обществе. Нарушение этих норм приведет к потере безопасности информации.

Методы информационной безопасности едины и используются в решении задач передачи данных, среди которых выделяют три основных [2, 3]:

1. надежный канал связи между пользователями;

2. использование общедоступного канала шифрования;

3. использование информационного канала с преобразованием данных в такой вид, в котором только адресат сможет расшифровать их.

Угрозы для информационных систем стали толчком для создания основного способа преобразования информации, который защищает от незаконного завладения и использования – криптографии.

Криптография – это наука о способах обеспечения конфиденциальности, недопустимости получения доступа посторонними лицами к данным информационного характера. Является довольно сложной и востребованной наукой о методах шифрования (дешифрования) информации таким замысловатым способом, что, кроме автора, к ней не найдет доступ ни один человек без определенного ключа [2, 3].

Криптография помогает преобразовать данные ради их сохранности и единства. Она является составляющей информационной безопасности со стороны функциональных средств защиты. Криптография включает в себя криптоанализ, который занимается исследованием и оценкой методов шифрования, в том числе разработкой других способов. Методы кодирования используются часто в преобразовании информации.

Криптография использует различные подходы к созданию шифров: замена, перестановка, гаммирование (кодирование), квантовое шифрование, шифрование с открытым ключом и различные криптографические протоколы. Большое число составляющих средств объединяется в одно безопасное информационное ядро.

Процесс защиты информации является многогранным, сложным, требует много сил со стороны компании-судовладельца. Безопасностью в информационной сфере необходимо заниматься постоянно. Специалисты должны следить за процессом, являющимся ключевым в моментах сохранности, надежности и конфиденциальности данных. Должны реализовываться меры предосторожности, защиты от утечки и утраты информации всевозможными способами, так как, попадая в чужие

руки, она может быть использована против интересов компании.

В соответствии с циркуляром Комитета по безопасности на море «Руководство по управлению киберрисками в морской отрасли» определены функциональные элементы, способствующие эффективному управлению киберрисками [4]:

1. Идентификация: определение задач и обязанностей персонала по управлению киберрисками и выявление систем, ресурсов, данных и функциональных возможностей, которые в случае сбоев могут представлять угрозу для эксплуатации судна.

2. Защита: реализация процедур и мер контроля рисков; планирование действий на случай чрезвычайной ситуации с целью предотвращения киберпроисшествий и обеспечения бесперебойной эксплуатации судна.

3. Обнаружение: разработка и принятие мер, необходимых для своевременного обнаружения киберпроисшествий.

4. Реагирование: разработка и выполнение мер и планов по обеспечению отказоустойчивости и восстановления систем, необходимых для эксплуатации судна, или функций, нарушенных в результате киберпроисшествия.

5. Восстановление: идентификация мер по резервному дублированию и восстановлению необходимых для эксплуатации судна киберсистем, которые пострадали в результате киберпроисшествия. Ниже представлен план внедрения системы управления информационной (кибер) безопасностью (табл. 1).

Таблица 1

План по внедрению системы управления информационной безопасностью

№	Мероприятия	Функциональный элемент
1	Актуализировать политику в безопасности и предотвращения загрязнения для включения анализов киберрисков, разработка и утверждение Политики в области кибербезопасности и ознакомление персонала компании (п. 2.2, МКУБ) [5]	Идентификация
2	Актуализировать информацию об ответственности и полномочиях, указанную в СУБ для установления ответственности и полномочий по управлению киберрисками и кибербезопасностью для СУКБ Компании (п. 3.2, МКУБ) [5]	
3	Определить необходимость в обучении персонала, которое может потребоваться для управления киберрисками в СУКБ в соответствии с действующими процедурами компании (п. 6.5, МКУБ) [5]	
4	Определить (критические) оборудование и технические системы (ОТ и ИТ), внезапный отказ которых может привести к опасным ситуациям в соответствии с действующими процедурами компании (п. 10.3, МКУБ) [5]	Защита
5	Оценить все выявленные риски для судов, персонала и окружающей среды и установить соответствующие меры безопасности (п.1.2.2.2, МКУБ) [5]	
6	Актуализировать процедуры, планы и инструкции по ключевым судовым операциям, касающимся безопасности персонала, судна и защиты окружающей среды, которые относятся к ОТ (п.7, МКУБ) [5]	
7	Актуализировать Аварийные планы в отношении мер реагирования на кибер инциденты (п. 8.1, МКУБ) [5]	Обнаружение
8	Актуализировать процедуры информирования о несоответствиях, несчастных случаях и опасных ситуациях, включая подготовку отчетов о кибер-инцидентах (п. 9.1, МКУБ) [5]	
9	Обеспечить наличие соответствующих ресурсов и поддержки береговых подразделений Назначенному лицу для реагирования в случае отказа в работе критических систем (п. 3.3, МКУБ) [5]	Реагирование
10	Актуализировать процедуры по выполнению корректирующих действий, отражающие и меры по предотвращению и их повторений (п.9.2, МКУБ) [4]	
11	Актуализировать конкретные меры, направленные в повышении надежности ОТ (п.10.3, МКУБ) [5]	

12	Разработать процедуры по резервному копированию и восстановлению и включить их в планово-предупредительную систему технического обслуживания (п. 10.4, МКУБ) [5]	Восстановление
----	--	----------------

Существует 3 (три) базовых принципа, которые должна обеспечивать информационная защита [4]:

1. целостность данных — защита от сбоев, ведущих к потере информации, а также защита от неавторизованного создания или уничтожения данных;
2. конфиденциальность информации;
3. доступность информации для всех авторизованных пользователей

Защита информации, задача комплексная, направленная на обеспечение безопасности, реализуемая внедрением системы защиты информации. Проблема защиты информации является многоплановой и комплексной и охватывает ряд важных задач. Кроме того, проблемы информационной защиты постоянно усугубляются процессами проникновения во все сферы общества технических средств обработки и передачи данных и, прежде всего, вычислительных систем. При разработке компьютерных систем выход из строя или ошибки, в работе которых, могут привести к тяжелым последствиям, вопросы компьютерной безопасности становятся первоочередными. На сегодняшний день во всем судоходном секторе информационная защита сети становится почти такой же важной, как обеспечение безопасности и охраны на судах.

Рекомендации МАКО (Международная Ассоциация Классификационных Обществ) содержат необходимые рекомендации по разработке и поддержанию информационной безопасности судов [6].

Планы и процедуры судоходной компании по управлению рисками информационной защиты должны быть согласованы с существующими процедурами по управлению рисками, регламентированными кодексами МКУБ и ОСПС. Ниже представлен рисунок, показывающий состав функциональных элементов системы информационной защиты:

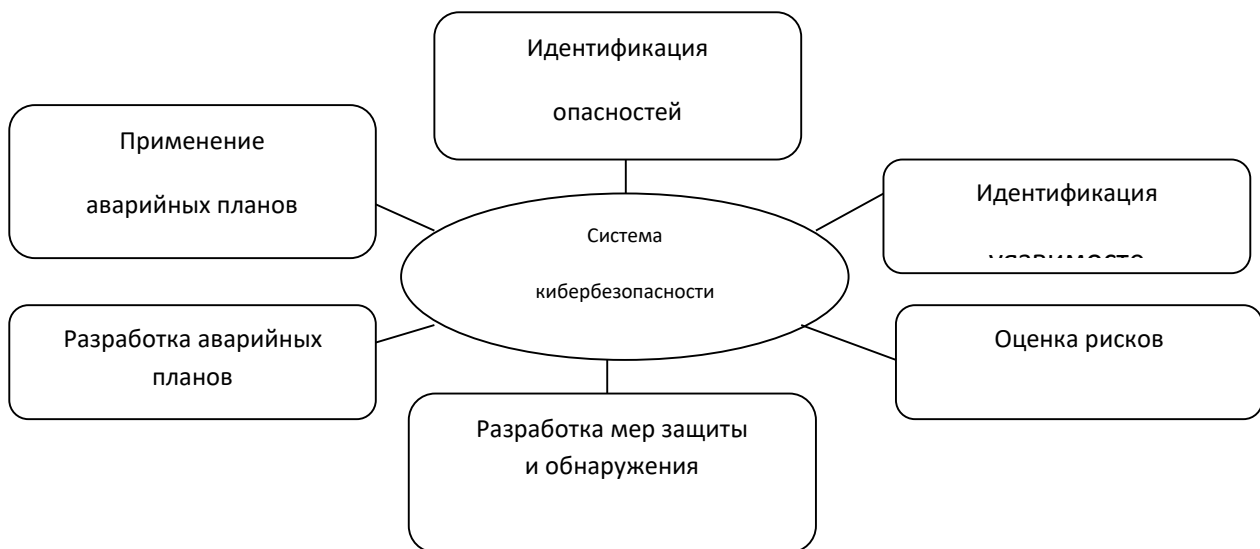


Рис. 1. – Элементы системы кибербезопасности [6]

Данные функциональные элементы должны быть включены в общую систему управления рисками. Они отражают необходимые мероприятия и желаемые результаты эффективного управления информационными рисками в отношении критических систем, задействованных на судне. Система информационной защиты должна быть установлена на всех уровнях компании от руководства на берегу и до членов экипажа, и интегрирована с системами безопасности и охраны с целью обеспечения эффективности судовых операций.

2 Выявление угроз, влияющих на безопасность интеллектуальных систем морских судов

Компьютерные системы, интегрированные в современные суда, включают в себя специальные аппаратные и программные решения для автоматизации специализированных функций, включая навигацию, двигательную установку и подачу топлива. С одной стороны, они обеспечивают экипажу в режиме реального времени и достоверное представление о состоянии судна, улучшая время реакции и снижая затраты на персонал. С другой стороны, эти технологии увеличивают возможность кибератаки на судно, что приводит к дополнительным проблемам информационной безопасности [2, 4, 6, 7].

Автоматизированные системы, работающие на борту, включают в себя множество элементов. Главный элемент — это ходовой мостик, обеспечивающий единый обзор всех систем, работающих на борту. Мостик действует как центральная точка логической сети, где информация, поступающая от периферийных систем, интегрируется, чтобы обеспечить полное представление о том, что происходит на судне.

С точки зрения безопасности, физические и цифровые компоненты системы взаимосвязаны. Таким образом, атаки на цифровую инфраструктуру влияют на физический контекст судна, и, в то же время, физические атаки могут нарушить работу интеллектуальных систем маневрирования и координации операций судна. В частности, ходовой мост является наиболее важным компонентом. Получение полного доступа к интеллектуальным системам ходового мостика позволило бы атакующему окончательно управлять судном, выполняя маневры и изменяя входную информацию. В таблице 2 рассмотрены все интеллектуальные судовые системы, для которых на данный момент существуют угрозы для их кибербезопасности [2, 4, 6].

Таблица 2

Уязвимые для кибератак интеллектуальные судовые системы и их составляющие

Интеллектуальная судовая система	Составляющие интеллектуальной системы
Система связи	<ul style="list-style-type: none">– Интегрированные системы связи;– оборудование спутниковой связи;– оборудование для передачи голоса по интернет-протоколам;– беспроводные сети;– системы оповещения и общей сигнализации.
Система навигационного мостика (навигационный комплекс)	<ul style="list-style-type: none">– Интегрированная навигационная система;– системы позиционирования (GPS/ГЛОНАСС);– электронно-картографическая навигационно-информационная система (ЭКНИС);– системы динамического позиционирования (ДП);– Глобальная Морская Система Связи при Бедствии (ГМССБ);– Автоматическая Идентификационная Система (АИС);– международная автоматизированная система оповещения (НАВТЕКС) (англ. NAVTEX - «NAVigational TELeX»)– радиолокационный маяк-ответчик SART (англ. SART – «Search And Rescue Transponder»)– аварийный радиобуй АРБ EPIRB (англ. EPIRB – Emergency «Position Indicating Radio Beacon»)– станции УКВ ЦИВ/ПВ/КВ– радиолокационное оборудование;– регистратор данных рейса (РДР);– другие системы мониторинга и сбора данных.
Система управления двигательными установками и механизмами мощности	<ul style="list-style-type: none">– Регулятор двигателя;– управление питанием;– интегрированная система управления;– сигнализация;– система экстренного реагирования.

Система контроля доступа	<ul style="list-style-type: none"> – Системы видеонаблюдения; – мостовая Навигационная вахтенная Сигнализация; – судовые системы охранной сигнализации; – электронные системы “персонал на борту”
Система управления грузом	<ul style="list-style-type: none"> – Грузовой диспетчерский пункт и его оборудование; – система индикации уровня; – система дистанционного управления клапанами – балластная система – сигнализация о попадании воды.
Система обслуживания и управления пассажирами	<ul style="list-style-type: none"> – Система управления судовым имуществом; – система личных электронных документов экипажа и пассажиров; – системы, связанные с финансами; – системы доступа пассажиров и моряков на борт судна; – системы поддержки инфраструктуры, такие как система именования доменов и системы аутентификации/авторизации пользователей.
Система для доступа к защищённой информации	<ul style="list-style-type: none"> – Шлюзы безопасности; – маршрутизаторы; – переключатели; – брандмауэры; – виртуальная частная сеть; – виртуальная локальная сеть; – системы предотвращения вторжений; – системы регистрации событий безопасности.
Система социального обеспечения экипажа	<ul style="list-style-type: none"> – Административные системы; – экипажный Wi-Fi или LAN доступ в Интернет.

Каждая составляющая любой судовой интеллектуальной системы имеет уязвимые места, с помощью которых можно произвести успешную кибератаку. Ниже в таблице 3 рассмотрены угрозы и уязвимости вышеупомянутых систем [2, 4].

Таблица 3

Угрозы для информационной безопасности судовых систем

Составляющие интеллектуальной судовой системы	Угрозы для системы
Система связи	
Интегрированные системы связи	<ul style="list-style-type: none"> – Сбор и использование информации в корыстных целях; – уничтожение, повреждение, радиоэлектронное подавление или разрушение; – воздействие на парольно-ключевые системы защиты автоматизированных систем обработки и передачи информации; – компрометация ключей и средств криптографической защиты информации; – утечка информации по техническим каналам; – внедрение в аппаратные и программные изделия вредоносных компонентов;
Оборудование спутниковой связи	
Оборудование для передачи голоса по интернет-протоколам	
Беспроводные сети (WLAN)	
Системы оповещения и общей сигнализации	
Система навигационного мостика (навигационный комплекс)	
Системы позиционирования (GPS/ГЛОНАСС);	Подмена сигнала GPS/ГЛОНАСС с использованием трансивера (подмена координат и времени)
Электронно-картографическая навигационно-информационная система (ЭКНИС);	Внедрение вредоносного кода через интернет или физический носитель, использующийся для получения или обновления навигационных карт.
Системы динамического позиционирования (ДП)	Ложные сведения от датчиков гидроакустической, радиоволновой, спутниковой, электромеханической, лазерно-оптической информации путем

Составляющие интеллектуальной судовой системы	Угрозы для системы
	внедрения вредоносных программ через физический носитель информации в рабочую станцию ДП-системы
Автоматическая идентификационная система (АИС)	Два направления атаки: первый — на AIS-провайдеров, собирающих данные с AIS-шлюзов, установленных на побережьях для сбора информации AIS и далее для предоставления коммерческих и бесплатных сервисов в реальном времени, второй — на уровне радиопередачи, т. е. самого протокола AIS. Сценарии атак для АИС:
Радиолокационный маяк-ответчик (РЛМО)	– изменение данных о судне, включая его местоположение, курс, информацию о грузе, скорость и имя;
Аварийный радиобуй (АРБ)	– создание «кораблей-призраков», опознаваемых другими судами как настоящее судно, в любой локации мира; – отправка ложной погодной информации конкретным судам, чтобы заставить их изменить курс для обхода несуществующего шторма; – активация ложных предупреждений о столкновении, что также может стать причиной автоматической корректировки курса судна; – возможность сделать существующее судно «невидимым»; – создание несуществующих поисково-спасательных вертолетов; – фальсификация сигналов аварийного радиобуя и радиолокационного маяка ответчика, активирующих тревогу на находящихся поблизости судах; – возможность проведения DoS-атаки на всю систему путем инициирования увеличения частоты передачи AIS-сообщений.
Международная автоматизированная система оповещения (НАВТЕКС)	Передача заведомо ложной информации путем передачи поддельного сигнала с помощью декодера.
Радиолокационное оборудование (РЛС/САРП)	– Электронное подавление (генераторы помех излучают мешающие сигналы на радар цели, блокируя приемник сигналами высокой концентрации энергии); – Изменение радиолокационного изображения путём внедрения вредоносных программ через сторонние носители и другие связанные с РЛС/САРП навигационными системами.
Бортовые регистраторы данных (VDR)	Внедрение вредоносного кода в компьютерную систему судна и передача его в регистратор данных с целью уничтожения или изменения записанной ранее информации.
Система управления двигательными установками и механизмами регулирования мощности	
Регулятор двигателя	Внедрение в аппаратные и программные изделия вредоносных компонентов через систему интегрированного навигационного мостика или через систему дистанционного мониторинга состояния ходовых систем.
Управление питанием	
Интегрированная система управления главными двигателями	
Система экстренного реагирования	
Система контроля доступа	
Системы видеонаблюдения	Внедрение вредоносных программ, вирусов через физические носители или спутниковый интернет со следующими целями: – Намеренная порча или удаление файлов с записями; – замена файлов видеоархива на другие; – доступ к базе данных; – перехват данных, их порча или изменение при передаче;
Судовые системы охранной сигнализации	
Электронные системы “персонал на борту”	
Система управления грузом	
Грузовой диспетчерский пункт и его оборудование	Интеллектуальные цифровые системы, используемые для управления и контроля грузов, могут взаимодействовать с различными системами на берегу. Такие системы могут включать средства отслеживания отгрузки (доступные грузоотправителям, судоходной компании, чартеру судна через Интернет).
Система индикации уровня загрузки судна	
Балластные системы	

Составляющие интеллектуальной судовой системы	Угрозы для системы
Сигнализация о попадании воды	Интерфейсы такого рода делают системы управления грузом и данные в грузовых документах уязвимыми для кибератак.
Система обслуживания и управления пассажирами	
Система управления судовым имуществом	Интеллектуальные устройства (планшеты, портативные сканеры, рабочие станции, персональные компьютеры) подключенные к системе спутниковой связи или использующие в работе съёмные физические накопители сами по себе являются вектором атаки, поскольку в конечном итоге собранные данные передаются другим системам, вследствие чего туда может внедриться вредоносное программное обеспечение, что будет грозить потерей данных или использованию их в корыстных целях.
Система личных электронных документов экипажа и пассажиров	
Системы, связанные с финансами	
Системы доступа пассажиров и моряков на борт судна	
Системы поддержки инфраструктуры, такие как система именования доменов и системы аутентификации/авторизации пользователей.	
Система для доступа к защищённой информации	
Шлюзы безопасности;	– Проникновение в операционную среду системы с использованием штатного программного обеспечения (средств операционной системы или прикладных программ общего применения); – угрозы создания нештатных режимов работы программных (программно-аппаратных) средств за счет преднамеренных изменений служебных данных, игнорирования предусмотренных в штатных условиях ограничений на состав и характеристики обрабатываемой информации, искажения (модификации) самих данных и т.п.; – угрозы внедрения вредоносных программ (программно-математического воздействия).
Маршрутизаторы;	
Брандмауэры;	
Виртуальная частная сеть (VPN);	
Виртуальная локальная сеть (VLAN);	
Системы предотвращения несанкционированного доступа к информации;	
Системы регистрации событий безопасности.	
Административная система и система социального обеспечения экипажа	
<ul style="list-style-type: none"> • административные системы; • Wi-Fi или LAN доступ в Интернет. 	<ul style="list-style-type: none"> – использование устройств, предоставляющих возможность неавторизованного доступа к системе, зачастую в обход механизмов защиты, определенных политикой безопасности; – «переключение на себя» устройств пользователя для последующего сканирования уязвимостей, фишинга или атак – взлом шифрования – атаки типа DOS – глушение клиентской/базовой станции – использование технологических программ, способных при некомпетентном использовании вызывать потерю работоспособности системы или осуществляющих необратимые изменения в системе – заражение системы вирусами – вывод из строя подсистем обеспечения функционирования системы – повреждение каналов связи – незаконное подключение к линиям связи с целью работы «между строк», с использованием пауз в действиях законного пользователя от его имени с последующим вводом ложных сообщений или модификацией передаваемых сообщений; – незаконное подключение к линиям связи с целью прямой подмены законного пользователя путем его физического отключения после входа в

Составляющие интеллектуальной судовой системы	Угрозы для системы
	систему и успешной аутентификации с последующим вводом дезинформации и навязыванием ложных сообщений.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что на современном судне существует большое количество интеллектуальных систем и их компонентов в виде подсистем, кибербезопасность которых подвержена опасности и требует должной защиты от киберпреступлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Там К., Джонс К. Управление кибер-рисками для автономных судов / Там К., Джонс К. – Оксфорд, Великобритания: Оксфорд, 2018 – 18 с.
2. Кавалиератос Г. Судходство 4.0: требования по безопасности к автономным судам/ Кавалиератос Г., Диамантополу В., Кацикас С., – Берген.: Изд-во IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2020. – 16 с.
3. Основные составляющие информационной безопасности. Информационная безопасность и ее составляющие – SearchInform. – URL: <https://searchinform.ru/informatsionnaya-bezopasnost/osnovy-ib/osnovnye-aspekty-informatsionnoj-bezopasnosti/osnovnye-sostavlyayuschie-informatsionnoj-bezopasnosti/>
4. MSC-FAL.1/Circ.3 Руководство по управлению киберрисками в морской отрасли, – Лондон.: Изд-во ИМО, 2017. – 16 с.
5. Международный кодекс по управлению безопасностью (МКУБ) и руководства по его выполнению = International Safety Management (ISM) with guidelines for its implementation: нормативный документ: Кодекс МКУБ: введ. с 04.11.1993 года: с поправками на 01.01.20015 года / Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота, Отдел безопасности мореплавания; отв. исполн. С. Е. Мясоедов; пер. В. П. Стрелков. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2014. – 152 с.
6. Рекомендация Международной Ассоциации Классификационных Обществ №166 «Рекомендации по киберустойчивости». – Лондон: Изд-во МАКО, 2020. – 57 с.
7. Жестовский А.Г., Михайловский М.Ю., Околот Д.Я., Рудинский И.Д. Проблемы информационной безопасности судовой информационной системы и пути их решения при подготовке специалистов мореходных направлений. // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4-4 (46). С. 94-102.

INFORMATION SECURITY INTELLIGENT SYSTEMS OF MARINE SHIPS

¹Bondarev Vitaly Aleksandrovich, including academic degree and position

²Bondareva Olga Mikhailovna, including academic degree and position

³Ragulina Izumrud Ramazanovna, including academic degree and position

⁴Zhestovskiy Aleksandr Georgievich, including academic degree and position

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹va.bondarev@gmail.com; ³izragulina@mail.ru; ⁴alex.zhestovskiy@mail.ru

The article presents general information about information security: the system of the main components of information data, types of their protection and information security methods. The functional elements that contribute to the effective management of cyber risks in the maritime industry have been identified. Identified threats affecting the safety of intelligent systems of marine vessels.

О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНЕРЦИОННОГО КОЭФФИЦИЕНТА РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ ПО ТРЕБОВАНИЯМ КОНВЕНЦИИ ОНС 2008 г.

Гуральник Борис Самуилович, канд. техн. наук, профессор кафедры
Сирота Александр Константинович, доцент, капитан дальнего плавания
Ковалишин Павел Юрьевич, канд. филол. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

В докладе проводится сравнение инерционных коэффициентов, определённых по методике Кодекса ОНС и в опытах кренования для нескольких типов рыболовных судов, отличающихся главными размерениями и способом лова. Сравнение показало, что для некоторых типов судов инерционные коэффициенты, полученные в опытах кренования, превышают вычисленные по методике ОНС, для других судов наблюдается обратное соотношение. В результате при определении критерия погоды для некоторых судов будут использоваться завышенные амплитуды качки, а для других судов – заниженные, что скажется на точности определённого критерия погоды.

Морской Регистр Судостроения России (РМРС) уже значительное время проводит работу по гармонизации и приведения в соответствие требований Регистра с международными требованиями. В рамках гармонизации требований Регистра в части остойчивости для судов, кили которых заложены или, модернизации которых проводятся начиная с 1 июля 2002 года или после указанной даты, применяются единые требования к остойчивости, основанные на Международном Кодексе остойчивости судов в неповреждённом состоянии (Кодекс ОНС 2008 года) [1], одобренный Резолюцией MSC.267(85) с изменениями на 5 июня 2015 года.

Международный кодекс [1] распространяется на грузовые суда, грузовые суда, перевозящие лесные палубные грузы, пассажирские суда, рыболовные суда, суда специального назначения, суда снабжения морских установок, подвижные буровые установки, понтоны, грузовые суда, перевозящие контейнеры на палубе, и контейнерные суда, а также учитывает для рыболовных судов требования Торремолинской Международной Конвенции по безопасности рыболовных судов 1977 г.

С 2002 г. в п. 2.2.1 части IV «Остойчивость» Правил Регистра [2] изменена процедура определения критерия погоды и включены дополнительные альтернативные требования к остойчивости судов неограниченного района плавания, согласно базовых рекомендаций Кодекса ИМО.

Альтернативные требования к диаграмме статической остойчивости заключаются в следующем:

- площадь под положительной частью диаграммы статической остойчивости должна быть не менее $0,055 \text{ м}^{\circ}\text{рад}$ до угла крена 30° и не менее $0,090 \text{ м}^{\circ}\text{рад}$ до угла крена 40° или угла заливания, смотря, что из них меньше;

- площадь между углами крена 30° и 40° или углом заливания, смотря, что из них меньше, должна быть не менее $0,030 \text{ м}^{\circ}\text{рад}$;

- плечо статической остойчивости должно быть по меньшей мере $0,20$ метра при угле равном или большем 30° .

Исправленная начальная метацентрическая высота всех судов для любых случаев нагрузки должна быть не менее $0,15$ м (за исключением особо оговоренных случаев).

При нахождении критерия погоды предполагается, что судно подвергается воздействию постоянного ветра, приложенного перпендикулярно диаметральной плоскости, с плечом кренящего момента l_{w1} .

Считается, что судно при воздействии волн и бортовой качки наклоняется от результирующего угла равновесия φ_0 на ветер до угла крена φ_1 . При этом угол крена от ветра φ_0 не должен превышать 16° или 80% угла входа кромки палубы в воду, в зависимости от того, что меньше.

Затем наклонённое на ветер судно подвергается воздействию шквалистого ветра с плечом кренящего момента l_{w2} и при совместном действии качки и шквалистого ветра площадь под диаграммой статической остойчивости b должна быть равна или больше площади a , как показано на рисунке 1.

Угол крена от качки, согласно Правил РМРС и Кодекса ОНС-2008, определяется формулой:

$$\varphi_1 = 109 * k * X_1 * X_2 * (r * s)^{0.5},$$

где: k, X_1, X_2 – коэффициенты, определяемые по специальным таблицам в зависимости, соответственно, от отношения площади брусковых и скуловых килей к произведению длины и ширины судна, отношения ширины судна к осадке и коэффициента общей полноты судна;

Величины r и s определяются следующим образом.

$$r = 0,73 + 0,6 * OG/d$$

$$OG = KG - d$$

KG – аппликата центра тяжести судна;

d – средняя теоретическая осадка судна;

s – коэффициент, определяемый по специальной таблице, в зависимости от собственного периода бортовой качки судна.

Для периода бортовой качки в ОНС-2008 и Правилах РМРС дана формула:

$$T = 2 * C * B / (GM)^{0.5},$$

$$\text{где: } C = 0,373 + 0,023 * (B/d) - 0,043 * (L_{WL}/100),$$

B – ширина судна;

GM – метацентрическая высота судна, исправленная на свободные поверхности;

L_{WL} – длина судна по ватерлинию.

В отечественной литературе приведённую выше формулу для периода бортовой качки принято называть «капитанской формулой», а параметр $2 * C$ – инерционным коэффициентом.

Сравним параметры $2 * C$, вычисленные по вышеприведённым формулам, с полученными в опытах кренования, нескольких судов разных размерных групп.

На рис. 1, 2, 3 и 4 приведены относительные частоты инерционных коэффициентов, полученных в опытах кренования при сдаче верфью-строителем и в процессе эксплуатации. На рис. 1 приведены гистограммы инерционных коэффициентов для малого траулера кормового траления, на рис. 2 гистограммы для малого траулера бортового траления.

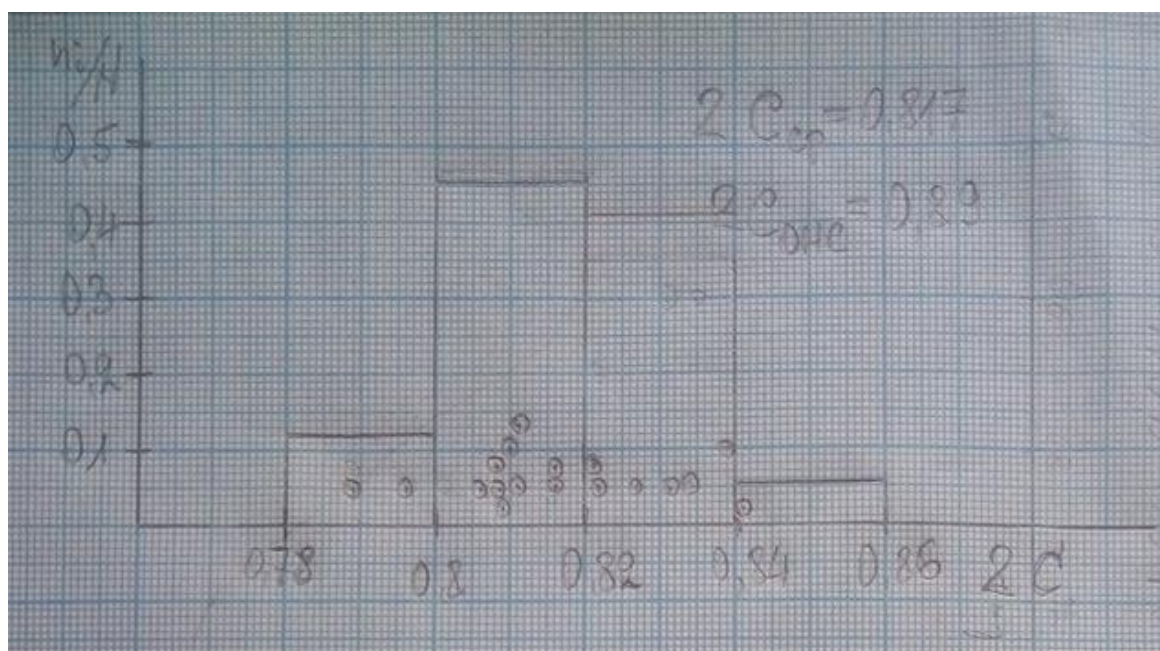


Рис. 1 Инерционные коэффициенты кормового траулера ($L = 22$ м)

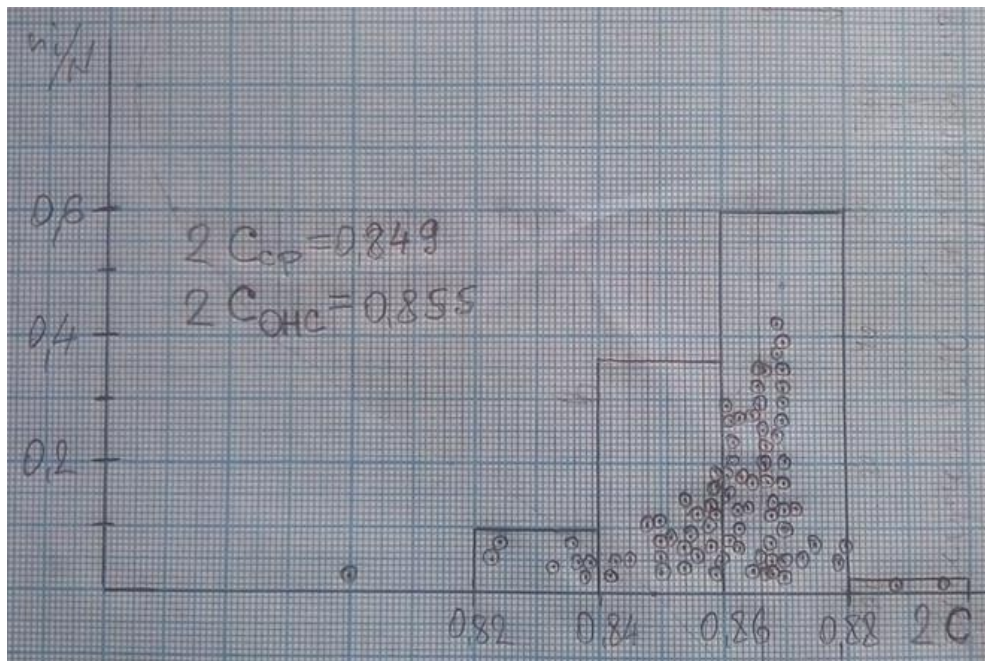


Рис 2 Инерционные коэффициенты бортового траулера ($L=30$ м)

Аналогичные данные для среднего рыболовного траулера бортового траления и сейнер-траулера отечественной постройки показаны соответственно на рис. 3 и 4, а на рис.5 даны гистограммы инерционных коэффициентов для крупнотоннажного траулера. На рис. 1-5 также нанесены значения инерционных коэффициентов, полученные в опытах кренования на серийных судах данных типов.

В таблице 1 выполнено сравнение средних значений инерционных коэффициентов, полученных в опытах кренования для нескольких типов рыболовных судов и вычисленных по методике Конвенции ОНС-2008.

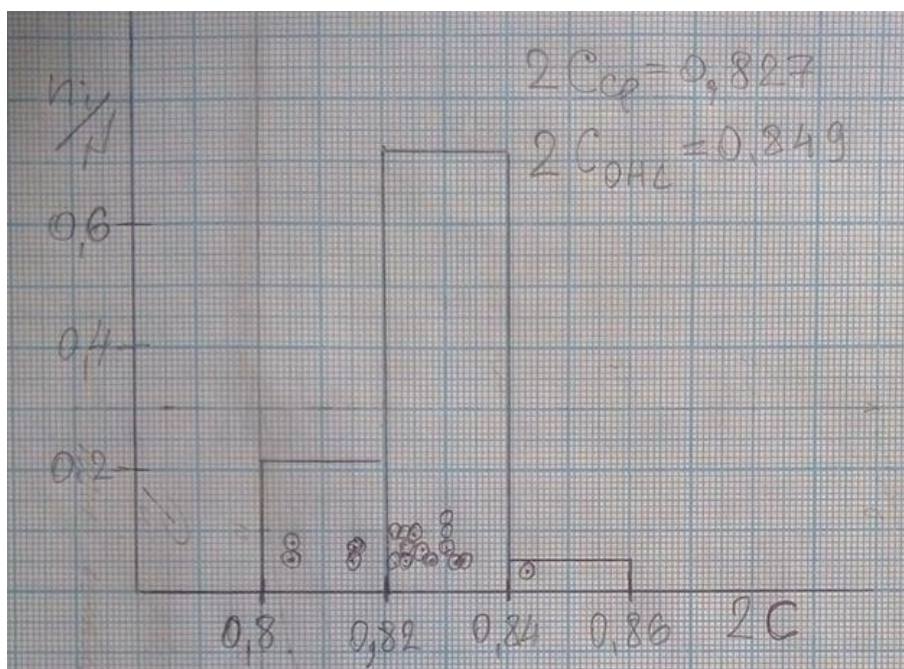


Рис 3 Инерционные коэффициенты бортового траулера ($L=50,4$ м)

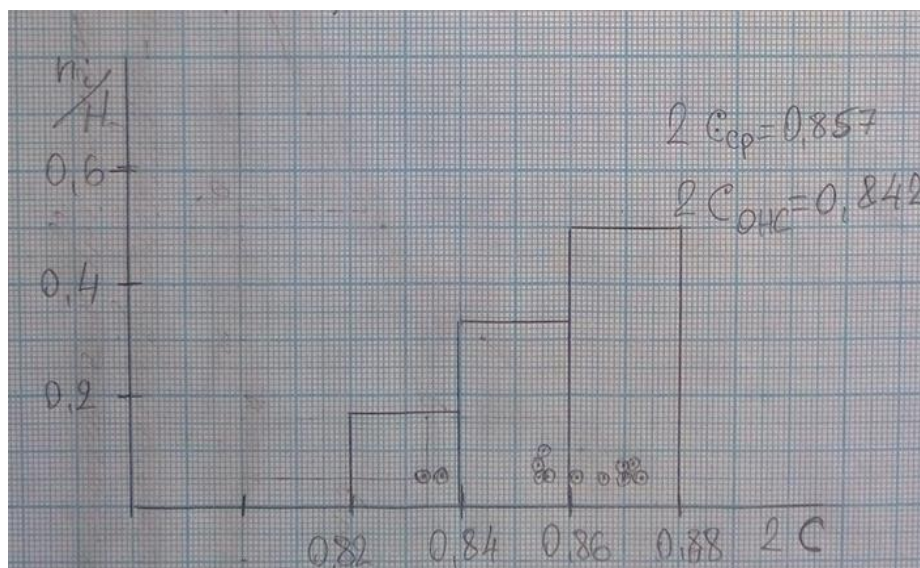


Рис 4 Инерционные коэффициенты сейнер- траулера ($L= 46,2$ м)

В таблице 1 выполнено сравнение средних значений инерционных коэффициентов, полученных в опытах кренования для нескольких типов рыболовных судов и вычисленных по методике Конвенции ОНС-2008.

Инерционные коэффициенты, вычисленные по методике Конвенции ОНС-2008 и полученные в опытах кренования также показаны на итоговом рис. 6.

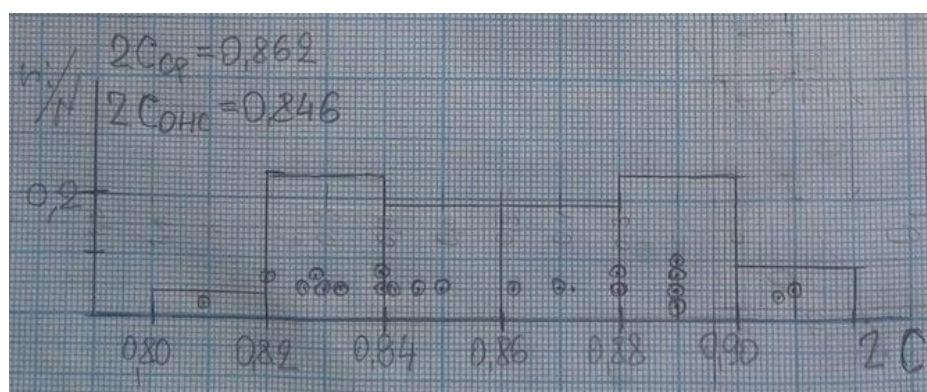


Рис 5 Инерционные коэффициенты кормового траулера ($L= 73$ м)

Таблица 1

Сравнение параметров 2^*C , полученных по расчёту и в опытах кренования

Наименование судна	Параметр 2^*C	
	Расчёт по ОНС-2008	Кренование
МРТК ($L=22$ м)	0,879	0,79- 0,87 ($C_{ср}=0,817$ по 17 крен.)
МРТР ($L=30$ м)	0,855	0,83- 0,89 ($C_{ср}=0,855$ по 82 крен.)
СТР ($L=46,2$ м)	0,842	0,833-0,873 $C_{ср}=0,857$ по 12 крен.)
СРТМ ($L=50,4$ м)	0,849	0,81- 0,83 ($C_{ср}=0,825$ по 17 крен.)
СРТМ ($L=50,6$ м) Ленинец	0,839	0,985
СРТМ ($L=55$ м)	0,851	0,852
РТМ ($L=73$ м)	0,846	0,82-0,91 ($C_{ср}=0,862$ по 21 крен.)
РТМС ($L=101,7$ м)		0,889, 0,929
РТМКС ($L=107$ м)	0,835	0,92, 0,931

Вычисленные по методике Конвенции ОНС-2008 инерционные коэффициенты на рис.6 показаны двойными кружками, а полученные в опытах кренования крестиками. В таблице 1 и на рис. 6 также приведены данные по построечным кренованиям двух супертраулеров и нескольким другим рыболовным судам.

Как видно из таблицы 1 и рис.6 для некоторых типов судов инерционные коэффициенты $2 \cdot C$, полученные в опытах кренования превышают вычисленные по методике ОНС-2008, для других судов наблюдается обратное соотношение. Также следует отметить общую тенденцию, что с увеличением размеров судов вычисленные по методике ОНС-2008 инерционные коэффициенты уменьшаются. В тоже время, опыты кренования показывают, что на крупных судах инерционные коэффициенты превышают, а с увеличением размеров значительно, значения, найденные по методике ОНС-2008.

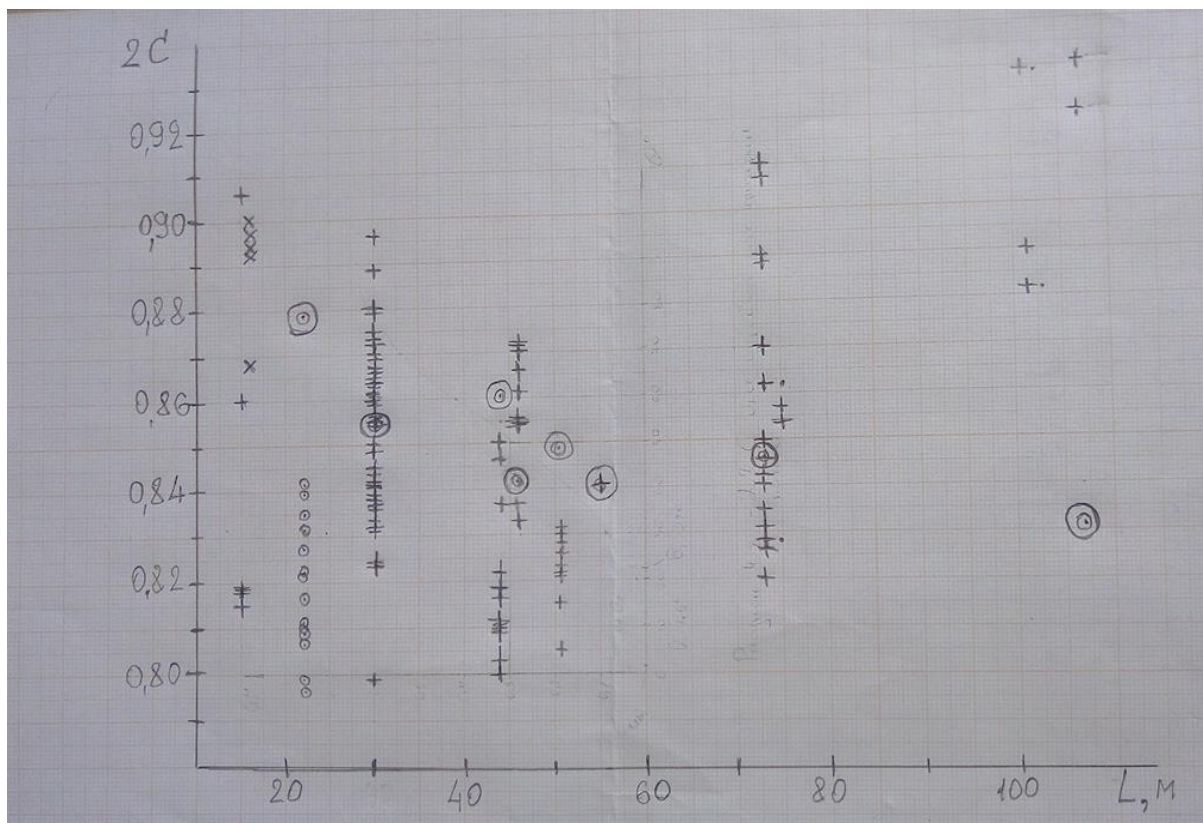


Рис. 6. Сравнение инерционных коэффициентов, рассчитанных по ОНС-2008 и в опытах кренования

Для среднетоннажного траулера ($L=55$ м), полученное при построечном креновании значение инерционного коэффициента, практически совпадает с вычисленным по методике ОНС-2008. В тоже время, полученное в опыте кренования при сдаче траулер-сейнера ($L=50,6$ м) значение инерционного коэффициента превышает в 1,174 раза вычисленное по методике ОНС-2008.

В эксплуатационных случаях нагрузки период качки будет вычисляться по методике ОНС-2008. Соответственно при завышенных инерционных коэффициентах при вычислении критерия погоды будут использоваться заниженные значения амплитуды качки, а если методика ОНС-2008 даёт заниженные инерционные коэффициенты, то при вычислении критерия погоды будут использоваться завышенные значения амплитуды качки. Таким образом, в первом случае мы получим несколько завышенные критерии погоды, т.е. остойчивость по критерию погоды будет переоценена, а во втором сделана с некоторым запасом.

Это свидетельствует о том, что процедура определения инерционных коэффициентов по методике ОНС-2008 требует дальнейшего уточнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международный кодекс остойчивости судов в неповреждённом состоянии (Кодекс ОНС 2008 года)
2. Правила классификации и постройки морских судов. Т1. – СПб.: Транспорт, 2019. – 379 с.

ON ACCURACY OF DETERMINING INERTIAL COEFFICIENT OF FISHING VESSELS UNDER THE REQUIREMENTS OF 2008 CODE ON INTACT STABILITY

Guralnik Boris, PhD, Associate Professor
Sirota Alexander, Associate Professor, Master Mariner
Kovalishin Pavel, Associate Professor

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university",
Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,
e-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

The report compares the inertial coefficients determined by the methodology of the IS Code and in inclining experiments for several types of fishing vessels, differing in the main dimensions and the fishing method. The comparison showed that for some types of ships, inertial coefficients obtained in inclining experiments exceed those calculated by the IS method, for other ships the opposite relationship is observed. As a result, when determining the weather criterion, overestimated heave amplitudes will be used for some vessels, and underestimated ones for other vessels, which will affect the accuracy of a certain weather criterion.

УДК 623. 826

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕЗЭКИПАЖНЫХ СУДОВ, СВЯЗАННЫЕ С ПЕРЕВОЗКОЙ ГРУЗОВ

Гуральник Борис Самуилович, канд. техн. наук, профессор кафедры
Тимофеев Владимир Константинович, д-р воен наук, профессор
Сирота Александр Константинович, доцент, капитан дальнего плавания

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

В мире постоянно происходит рост размеров и совершенствование судов, повышается их надёжность, совершенствуются инструменты, приборы и другие средства судовождения, на судах появились электронные карты, авторулевой, системы более точного определения места, позиционирования судна, облегчающие управление судном в стеснённых условиях. Сегодня специалисты работают над проектами морских автономных систем (MAS – Maritime autonomous systems), состоящих из безэкипажного судна, управление которым осуществляется оператором из удалённого берегового центра. В 2020 г. выполнена опытная перевозка грузов на безэкипажном судне. В данном докладе рассматриваются некоторые технологические вопросы, связанные с перевозимым на безэкипажном судне грузом.

В мире, и в том числе в морской индустрии, постоянно происходит развитие технологий, направленных на повышение безопасности судна, и всех выполняемых на нём операций, механизации и автоматизации производственных процессов и судовых работ. Механизация и автоматизация процессов и работ позволяет упростить и убыстрить их выполнение, исключить или уменьшить количество ошибок при взаимодействии системы человек-машина. В развитии технологий в морской

индустрии можно выделить несколько этапов. На первом этапе в отдельных частях судов появились элементы автоматики.

В судомеханической части сначала появилась автоматика, для обслуживания работы силовой установки, затем появились суда, на которых вахта неслась в ЦПУ и отсутствовала в машинном отделении, а впоследствии начали строить суда с автоматизированной системой управления машинной установкой с мостика. Автоматизирована работа рефрижераторной установки, на судах появились системы аварийной сигнализации появления огня, присутствия воды, мониторинга состояния атмосферы закрытых помещений. Для рефрижераторных судов разработаны системы контроля температуры в грузовых помещениях

На мостике используются системы ECDIS, NAVTEX, AIS и другие, облегчающие маневрирование и позиционирование судна в стеснённых условиях, позволяющие более точно определять место, идентифицировать суда, предупреждать о столкновении, обеспечивать коммуникацию между судами, судно-берег и системами управления движением судов.

Автоматизация судовых работ и процедур по большинству частей судна позволила облегчить и повысить производительность этих работ, сократить количество членов экипажа на судне и привела к появлению автоматизированных судов (Smart ships).

В последние годы в отечественных изданиях и в иностранной печати обсуждается дальнейшее развитие технологий в направлении создания глобальных морских автономных систем MAS (Maritime autonomous systems), включающих без экипажные суда USVs (Unmanned Surface Vessels) все процессы, на которых управляются операторами из удалённого берегового центра. Разработка MAS является следующим шагом в развитии Smart ships. Использование MAS значительно повышает требования к квалификации операторов, и к долговечности и надёжности первичных датчиков и аналитического операционного оборудования, управляющего работой всех частей судна.

Такие системы MAS уже существуют, но имеют ограниченное применение, в военной области, при научных исследованиях, мониторинге климата, морских нефте - газовых работах. В мире сегодня насчитывается около 1000 таких автономных, точнее без экипажных судов, но большинство из них малые, длиной менее 24 метра и используются они в контролируемых водах [1]. В [2] описан первый международный рейс автономного судна "USV Maxlimer" с грузом, совершенный в южной части Северного моря между портами West Mersea и Ostend.

Очевидно, что размеры автономных судов будут расти и следующим шагом будет создание коммерческих судов, которые, как планируется, должны прийти на замену существующим сегодня судам.

Зарубежные специалисты считают, что отказ от экипажа на судах позволит изменить традиционную архитектуру судов, отказаться от надстройки. Это уменьшит массу корпуса, что позволит увеличить его грузоподъёмность при тех же главных размерениях, уменьшит парусность, что улучшит управляемость и приведёт к снижению сопротивления движению. Прикидочные расчёты показывают, что если на транспортном рефрижераторе типа «Берингов пролив» убрать надстройку, шлюпочное спасательное устройство, оставив только плоты, исключить системы отопления и кондиционирования воздуха, заменить судовой котёл, на котёл меньшей производительности, то его водоизмещение уменьшится примерно на 640 тонн.

В тоже время на без экипажном судне понадобится установка дополнительных датчиков и систем контроля за работой судового оборудования и состоянием груза в трюмах. Если предположить, что данное оборудование и системы будут весить ~150-200 тонн, то грузоподъёмность судна, при тех же главных размерениях, увеличится примерно на ~400 тонн, что при грузоподъёмности т/р «Берингов пролив» около 10 000 тонн составит 4%.

На большом балкере или танкере (грузоподъёмность около 100 000 тонн) масса надстройки будет иметь тот же порядок, а приращение грузоподъёмности ~400 тонн будет только ~ 0,4%.

Отсутствие на судах экипажа также позволит судовладельцам заметно снизить эксплуатационные расходы и фрахтовые ставки, повысить эффективность эксплуатации судов.

Однако, при дальнейшем развитии MAS возникает ряд проблем, связанных с интегрированием MAS в существующую сегодня практику морской индустрии. Для этого необходимо решить ряд юридических, организационных и технических вопросов международного законодательства, в области автономной навигации и предотвращения столкновений (SOLAS, Colregs), решить вопросы

обеспечения уверенной связи и кибербезопасности коммуникации берег – судно и ряд других, в частности, технологических задач, связанных с обеспечением качественной перевозки грузов и претензионной работы, в случае не качественной перевозки.

Существует ряд технологических и практических задач, вопросов, в практике эксплуатации судов, требующих каждодневного контроля, и формализовать которые сегодня, при существующей законодательной базе, вряд ли возможно.

Сегодня работы по размещению, укладке и креплению грузов, как правило, выполняются портом, но контролируются судовой администрацией, часто крепление груза выполняется, где это разрешено законами порта, силами экипажа. Кодекс безопасной практики размещения и крепления грузов требует, чтобы после завершения крепления груза, представитель компетентной организации проверил работы и выписал «Сертификат (Документ) об укладке и креплении груза». Логично переложить на компетентную организацию судовой контроль за укладкой и креплением грузов, возложив на неё и материальную и юридическую ответственность в случае не качественного выполнения работ.

Данное обстоятельство потребует пересмотра и корректировки документов, регламентирующих ответственность перевозчика, и приведёт к росту арбитражных и судебных разбирательств, в случае не качественной перевозки.

Кроме того, правила хорошей морской практики требуют, чтобы во время рейса крепление груза регулярно проверялось и найтовы подтягивались.

Также каждый день во время рейса необходимо подтягивать quick acting cleats или стопорные болты, обтягивающие люковые крышки, в противном случае, при их ослаблении регулярно происходят подмочки перевозимых грузов.

Существующие сегодня средства крепления и сложившаяся практика выполнения этих работ требует присутствие человека и пока не может быть автоматизирована. В тоже время, не выполнение данных работ скажется на качестве перевозки.

Можно ли быть уверенным в безопасности без экипажного судна и груза при перевозке, без ежедневного контроля за состоянием груза, тем более, что при сегодня существующем контроле нередко случаи некачественной перевозки и аварии с грузами ?

Не смотря на контроль за названными работами со стороны судовой администрации, при существующей технологической культуре выполнения данных работ, известны случаи аварий, когда погрузка груза выполнялась с отступлениями от судового наставления по укладке и креплению грузов. Авторам известен случай потери труб большого диаметра для строительства газопроводов, перевозимых на люковых крышках судна. На судно в Италии были погружены и закреплены найтовыми трубами большого диаметра. На подходе к порту, в штормовую погоду порвались найтовы крепления труб на первой люковой крышке и одиннадцать труб из семнадцати ушли за борт. Шесть оставшихся труб при перекачивании получили такие повреждения полиэтиленового защитного покрытия и металла труб, что их использовать при укладке трубопровода было нельзя.

При разборе аварии выяснилось, что брусья и доски, из которых была набрана сепарация под трубы, не были сбиты гвоздями, а клинья были просто подложены под трубы и не прибиты к сепарации, как это требует судовое наставление. В результате во время шторма клинья были выдавлены или выбиты волнами, и трубы в штабеле получили подвижность, в результате чего порвались найтовы крепления. Как исключить подобные ситуации на без экипажном судне?

Погрузка многих грузов требует постоянного наблюдения и контроля со стороны администрации судна. Сегодня отсутствие на металлопродукции коррозионных и механических повреждений контролируется грузовым помощником капитана или назначенным сюрвейером, но решение о внесении ремарок в коносамент принимает капитан судна после консультаций с судовладельцем. Назначенный сюрвейер обычно выполняет Preloading survey, т.е. предпогрузочную инспекцию на складе заранее до подхода судна. В тоже время, на складе не всегда возможен доступ к отдельным грузовым местам, а при доставке со склада на причал груз тоже может получить дополнительные повреждения. Поэтому необходимо на судне контролировать состояние и крепление загружаемой металлопродукции.

Погрузка леса тоже требует постоянного наблюдения и контроля со стороны администрации судна, т.к его плотность практически всегда не известна и может значительно отличаться по влажности даже внутри одной судовой партии. После погрузки должно быть выполнено крепление палубного каравана либо экипажем судна, либо под контролем со стороны администрации судна.

Если на без экипажном судне контроль за укладкой и креплением металлопродукции, других грузов и леса на палубе будет выполняться сторонней организацией, то на контролёра надо перенести и ответственность в случае некачественной перевозки. Правда из этой ответственности необходимо будет, каким-то образом, исключить случаи «тяжелой» погоды и другие возможные форс-мажорные обстоятельства (которые ещё надо доказать), что приведёт к серьёзным арбитражным разбирательствам.

Контроль качества перевозки рефрижераторных грузов осуществляется по температуре входящего и выходящего воздуха. Тем не менее, периодически необходимо проверить состояние груза, спустившись в трюмы. Последнюю операцию сегодня вряд ли возможно формализовать.

Как известно, практически все претензии при перевозках можно разделить на претензии по качеству и претензии по количеству груза. И сегодня регулярно встречаются просчёты и ошибки тальманов, иногда удивительные.

При погрузке к борту судна подвезли флэт с алюминиевыми чушками –барсами. Тальманы порта и отправителя груза пересчитали привезённые грузовые места. Однако, наступила пересменка и карщик отвёз флэт обратно на склад. Заступила новая смена и флэт снова подвезли к борту. Новые тальманы пересчитали груз и его загрузили на судно. После завершения погрузки при оформлении грузовых документов обнаружилась разница в сорок пять тонн между судовым и береговым тальманским счётом. Если бы не был организован судовой тальманский счёт, то при сдаче в порту выгрузки обнаружилась бы недостача груза.

При погрузке «дорогих» жидких грузов (бензина, дизельного топлива и др.) регулярно возникают разногласия в количестве между танкером и берегом. Как должны будут разрешаться эти разногласия в случае без экипажного судна?

Кто и как будет фиксировать доказательства на без экипажном судне для расследования случаев некачественной перевозки, недостач навалочных, жидких и других грузов? Кто будет представлять интересы судна на начальном этапе сбора документов? Эти вопросы должны быть решены урегулированы в нормативных документах.

При перевозке грузов, которые боятся подмочки, рекомендуется их проветривать путём приоткрывания люковых крышек для вентилирования груза. На без экипажном судне это выполнить будет не возможно.

После выгрузки большинства грузов всегда требуется замывка и зачистка трюмов. В принципе, на без экипажном судне, это могут выполнить докеры порта. Но возникнут дополнительные организационные и технические проблемы со сдачей собранных остатков и загрязнённых вод. После некоторых грузов, например, селитры, этих остатков образуется очень много. Окалина с палубы трюмов и с бортов сходит пластами и в больших количествах. Сегодня эти работы выполняются силами экипажа на переходе после выхода из порта. В порту сегодня сдача замазученных, загрязнённых вод и твёрдых отходов имеет сложности, а если это остатки от опасного груза, то их сдача превратится в проблему. В конечном итоге, на выполнение этих работ потребуется время и приведёт к дополнительным финансовым потерям для судовладельцев.

Кроме того, если подготовка трюмов ведётся без участия и контроля со стороны судовой администрации, то каким-то образом должен быть юридически решен вопрос о разделении ответственности между судовладельцем и лицами, выполняющими эту подготовку, в случае её некачественного выполнения, при эксплуатации без экипажных судов.

При выгрузке некоторых грузов, например, тугоплавких масел (пальмовое, пальмоядровое масла) требуется участие экипажа, в конце выгрузки, для сбора остатков груза. Змеевики подогрева груза в танках танкеров расположены на расстоянии 8-10 сантиметров над палубой танка. В результате, когда пальмового масла в танке остаётся на уровне чуть ниже змеевиков подогрева, в танк спускаются члены экипажа с деревянными скребками и сгоняют остатки груза к приёмному патрубку откачки груза. Если этого не сделать, то пальмовое масло из жидкого состояния переходит

в твёрдую фазу, т.к его температура застывания составляет 20 – 25⁰С, а тепла змеевиков не хватает для поддержания его в жидком состоянии. Если остатки масла успеют схватиться, то не будет никаких возможностей их выгрузить. В российских портах груз перед выгрузкой растаможивается и остатки на борту ROV (remain on board), будут рассматриваться как контрабанда.

Данная ситуация возможна не только с пальмовыми маслами, а возможна с любыми жидкими грузами, особенно с обладающими опасными свойствами, когда нельзя экипажу выполнять его ручную зачистку.

При работе с тугоплавкими маслами есть и другие технологические трудности. Авторы встречались с ситуацией, когда при выгрузке в зимнее время, при температуре воздуха минус (8 - 10⁰С) образовалась замёрзшая пробка в палубном трубопроводе перед к манифолдом. Экипажу пришлось пол ночи отогревать трубопровод, чтобы продолжить выгрузку груза. Кто и на каких условиях должен будет устранять данную проблему в случае без экипажного судна?

При наступлении таких ситуаций нельзя упустить время, в противном случае замёрзнет весь трубопровод, и танкер может надолго встать на прикол с остатками груза.

Таким образом, для успешной эксплуатации без экипажных судов необходимо будет решить ряд технических, технологических и юридических вопросов.

Из эксплуатируемых сегодня типов судов технически наиболее оборудованы и приспособлены для без экипажной эксплуатации танкеры. На большинстве этих судов имеются дистанционные системы контроля температуры и определения количества перевозимого продукта. Однако, представляется, что существующая сегодня инфраструктура морских путей и нормативная база не позволяют обеспечить необходимый высокий стандарт безопасности этих перевозок, особенно при транспортировках нефти и нефтепродуктов.

Дистанционной системой контроля температуры оборудованы большинство современных рефрижераторных судов. В тоже время, для части рефрижераторных грузов, для обеспечения качественной перевозки, требуется контроль атмосферы грузовых помещений, фиксирование концентрации выделяемых при дыхании грузом газов, способствующих быстрому их созреванию. Поэтому рефрижераторные суда в автономном режиме могут использоваться с ограниченным перечнем грузов.

Работающие на промысле рыболовные суда постоянно находятся в состоянии «игры с природой», что требует быстрого принятия решений для выполнения манёвров, изменения скорости и т.д. Добытый продукт должен подниматься на борт и организовываться его переработка, что сегодня невозможно без присутствия экипажа. Это заставляет скептически относиться к возможности появления без экипажных рыболовных судов.

Балкеры, универсальные суда для перевозки генеральных грузов из-за конструкции и технической оснащённости менее всего сегодня могут использоваться для без экипажной эксплуатации.

Представляется, что возможна организация МА для контейнеровозов, работающих на некоторых контейнерных линиях, в районах, где нет интенсивного судоходства.

Из технических вопросов, требующих решения для всех типов судов, в первую очередь, необходимо:

- разработать новые устройства, обеспечивающие автоматическое затягивание уплотнений люковых крышек, или разработать новые конструкции крышек, удовлетворяющие данному условию;

- разработать датчики и дистанционные системы контроля состояния перевозимых грузов в судовых помещениях, которые могут гибко интегрироваться под разные перевозимые грузы;

- разработать новые устройства и системы крепления палубных грузов не требующие периодического подтягивания во время перехода.

Технологические проблемы, требующие решения:

- необходимо разработать автоматические процедуры контроля качества зачистки и замывки грузовых помещений;

- необходимо разработать новую систему сбора остатков жидких грузов при выгрузке, исключаящую использование ручного труда;

Также необходимо доработать или переработать юридические нормы или требования действующих международных кодексов, для учёта особенностей эксплуатации без экипажных судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Patraiko David. Living With Autonomous Systems. The International Journal of The Nautical Institute "SEAWAYS". March 2020, p. 8-10.
2. Shipping Autonomy in South West England. The International Journal of The Nautical Institute "SEAWAYS". October 2020, p. 32-33.

SOME CARGO TRANSPORTATION RELATED ISSUES OF UNMANNED VESSELS OPERATION

Guralnik Boris, PhD, Associate Professor
Timofeev Vladimir, Professor
Sirota Alexander, Associate Professor, Master Mariner

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university",
Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,
Kaliningrad, Russia, e-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

In the world, the size and improvement of ships is constantly growing, their reliability is increasing, instruments and other means of navigation are being improved, electronic maps, autopilot, systems for more accurate location determination, ship positioning, which facilitate ship control in cramped conditions, have appeared on ships. Today, specialists are working on projects for maritime autonomous systems (MAS), consisting of an unmanned vessel, which is controlled by an operator from a remote coastal center. In 2020, an experimental cargo transportation was carried out on an unmanned ship. This report examines some of the technological issues related to cargo transported on an unmanned vessel.

УДК 656.61.052

НАВИГАЦИОННЫЕ АВАРИИ СТОЛКНОВЕНИЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ НА ОГРАНИЧЕННЫХ ГЛУБИНАХ В УЗКОСТЯХ

¹Данилов Юрий Аронович, канд. техн. наук, профессор кафедры судовождения
²Гаврильченко Галина Николаевна, ст. преподаватель кафедры
безопасность мореплавания

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹yreydaniilov@yandex.ru; ²galina.gavrilchenko@mail.ru

Ранее мы выполняли исследование условий навигационных аварий судов на ограниченных глубинах в узкостях в предположении подобия явления аварии. Однако для судов различных типов проявляется существенное различие по блок-коэффициенту, т.е. формы корпуса. Чтобы получить оценку влияния формы корпуса, выполнено исследование условий для группы аварий контейнеровозов. Результаты исследования показывают, что в информационных моделях однотипных судов проявляются более сильные связи.

Анализ условий навигационных аварий столкновений судов четырех типов [1]: танкеров, балкеров, перевозчиков генеральных грузов и контейнеровозов – в целом подтвердил предыдущие

исследования. В каждой группе судов объединены суда близкие по блок-коэффициенту [2]. Однако, существенным недостатком оказалось то, что в каждой группе судов объединены суда, принадлежащие к разным диапазонам по длине судна. Четыре типа судов предполагают объединения в группы по признаку объема C_L^3 , а по факту анализируемого материала, группы различны по длине судов. Поэтому интересно проверить информационные модели аварий в пределах отдельных групп судов, в предположении, что в группе объединены геометрически подобные суда.

Рассмотрим группу судов-контейнеровозов, количество $N = 35$ достаточно для распределения массивов данных на четыре класса. По докладам экспертов доступные исходные данные объединены в следующие критерии.

$H_{\Phi}/H_{\text{ман}}$ - отношение глубины места аварии к глубине оценки маневренных качеств судна на заданной скорости;

$T_{\text{дин}}/H_{\Phi}$ - отношение динамической осадки к глубине места аварии судна;

$F_{\Gamma H}$ - Критерий Фруда по глубине места аварии;

$V_{\Phi}/(7B_B + 4B_M)$ - отношение ширины узкости к сумме ширины судов по условию исключения взаимного влияния;

H_{Φ}/L_C - отношение глубины места к длине судна;

$Re = \frac{LV}{\nu}$ - Критерий Рейнольдса по длине судна;

$F_{rL} = \frac{V}{\sqrt{gL}}$ - Критерий Фруда по длине судна.

Распределение по классам показано в таблице 1, где в числителе указан диапазон класса данных, в знаменателе - число данных.

Коэффициенты информационной связи условий и длины судов показаны в таблице 2. Погрешности распределения по классам очень малые (шум в канале связи), а коэффициенты связи достаточно надежные. Наиболее сильные связи показали критерии: $H_{\Phi}/H_{\text{ман}}$ - отношение глубины места аварии к глубине оценки маневренных качеств судна на заданной скорости; H_{Φ}/L_C - отношение глубины места к длине судна; Re - Критерий Рейнольдса по длине судна; Критерий Фруда по длине судна F_{rL} т.е. то, что так или иначе показывает влияние нестабильного движения судна

Таблица 1

Сводка классов (диапазонов значений) явления и факторов

Имя фактора	Классы			
	1	2	3	4
L_C	$\frac{48 \div 116}{9}$	$\frac{117 \div 160}{8}$	$\frac{161 \div 230}{9}$	$\frac{231 \div 320}{9}$
$H_{\Phi}/H_{\text{ман}}$	$\frac{0,2}{9}$	$\frac{0,21 \div 0,31}{8}$	$\frac{0,32 \div 0,49}{9}$	$\frac{\geq 0,5}{9}$
$T_{\text{дин}}/H_{\Phi}$	$\frac{0,10 \div 0,57}{9}$	$\frac{0,58 \div 0,76}{10}$	$\frac{0,77 \div 0,88}{8}$	$\frac{\geq 0,89}{8}$
$F_{\Gamma H}$	$\frac{0,09 \div 0,21}{9}$	$\frac{0,22 \div 0,42}{9}$	$\frac{0,43 \div 0,59}{9}$	$\frac{\geq 0,60}{8}$
$V_{\Phi}/(7B_B + 4B_M)$	$\frac{0,3 \div 0,4}{7}$	$\frac{0,5 \div 0,7}{9}$	$\frac{0,8 \div 1,3}{11}$	$\frac{1,4 \div 12}{8}$
H_{Φ}/L_C	$\frac{0,041 \div 0,062}{9}$	$\frac{0,063 \div 0,094}{8}$	$\frac{0,098 \div 0,119}{9}$	$\frac{0,120 \div 0,137}{9}$
F_{rL}	$\frac{0,019 \div 0,069}{9}$	$\frac{0,070 \div 0,119}{8}$	$\frac{0,120 \div 0,184}{9}$	$\frac{0,185 \div 0,253}{9}$
Re	$\frac{(1,1 \div 2,8)10^8}{9}$	$\frac{(2,9 \div 5,75)10^8}{9}$	$\frac{(5,8 \div 10,3)10^8}{9}$	$\frac{(10,8 \div 19,0)10^8}{8}$

Информационные функции массивов условий навигационных аварий столкновений судов-контейнеровозов в узкостях на ограниченных глубинах

Условие (фактор)	H_L	H_Φ	H_L/H_Φ	$T_{длин}/H_\Phi$	K_{H_L/H_Φ}	$\Delta H_{H_L/H_\Phi}$	Ранг по K_{H_L/H_Φ}
$H_\Phi/H_{ман}$	2,000	1,997	3,600	0,397	0,198	0,003	4
$T_{длин}/H_\Phi$	2,000	1,997	3,740	0,259	0,129	0,003	6
$F_{ГН}$	2,000	2,000	3,740	0,260	0,130	0,000	5
$V_\Phi/(7B_B + 4B_M)$	2,000	1,980	3,722	0,258	0,129	0,020	7
H_Φ/L_C	2,000	2,000	3,567	0,433	0,216	0,000	3
$F_{ГЛ}$	2,000	2,000	3,565	0,435	0,217	0,000	2
Re	2,000	2,000	3,480	0,520	0,260	0,000	1

По результатам расчета передачи информации по каналам связи от классов условий на классы длины судов в большинстве случаев прослеживается связь влияния факторов с длиной судна. В таблице 3 показана кодовая информационная модель навигационных аварий по классам длины судов.

Таблица 3

Кодовая информационная модель навигационных аварий –столкновений контейнеровозов в узкостях на ограниченных глубинах

Код канала	Классы длины судов, индексы				J информация	Диапазон кода
	1 48-116	2 117-160	3 161-230	4 231-320		
$H_\Phi/H_{ман}4$	0,243	-	0,118	-	1,406	$\geq 0,5$
Re 4	-	-	0,118	0,368	0,955	$(10,8-19)10^8$
$H_\Phi/L_C 4$	0,410	-	-	-	0,776	0,120-0,137
$F_{ГЛ}4$	0,410	-	-	-	0,776	0,185-0,253
$H_\Phi/H_{ман}3$	0,076	0,327	-	-	0,648	0,32-0,49
Re 2	0,299	0,104	-	-	0,648	$(10,8-19)10^8$
$V_\Phi/(7B_B + 4B_M) 1$	0,314	-	-	0,029	0,621	0,3-0,4
$F_{ГЛ} 3$	-	-	0,187	0,187	0,610	0,120-0,184
$T_{длин}/H_\Phi 4$	-	-	0,118	0,243	0,594	$\geq 0,89$
$H_\Phi/L_C 1$	-	-	-	0,410	0,554	0,041-0,062
$F_{ГН} 4$	0,243	-	0,119	-	0,406	$\geq 0,60$
$V_\Phi/(7B_B + 4B_M) 3$	-	0,135	-	0,107	0,342	0,8-1,3
$H_\Phi/H_{ман} 1$	-	-	0,143	0,143	0,278	0,20
$F_{ГЛ} 1$	-	0,219	-	0,076	0,269	0,019-0,069
$F_{ГН} 2$	-	0,219	-	0,077	0,249	0,22-0,42
$V_\Phi/(7B_B + 4B_M) 2$	-	0,104	0,187	-	0,249	0,5-0,7
$H_\Phi/L_C 2$	-	0,271	-	-	0,249	0,63-0,94
Re 1	0,076	0,215	-	-	0,249	$(10,8-19)10^8$
Re 3	-	-	0,187	0,076	0,249	$(10,8-19)10^8$
$H_\Phi/L_C 3$	-	-	0,187	-	0,202	0,098-0,119
$F_{ГН} 1$	-	-	-	0,187	0,165	0,09-0,21
$T_{длин}/H_\Phi 3$	-	0,146	0,122	-	0,158	0,77-0,88
$T_{длин}/H_\Phi 2$	0,043	0,171	-	-	0,154	0,58-0,76
$H_\Phi/H_{ман}2$	-	-	-	0,118	0,094	0,21-0,31
$V_\Phi/(7B_B + 4B_M) 4$	0,118	-	-	-	0,094	1,4-12,0
$F_{ГЛ} 2$	-	0,104	-	-	0,094	0,070-0,119
$T_{длин}/H_\Phi 1$	0,187	-	-	-	0,065	0,10-0,57

В таблицах 4 – 7 представлено краткое описание информационных моделей навигационных аварий (столкновений) контейнеровозов четырех диапазонов длины судна.

Таблица 4

Информационная модель условий аварий-столкновений контейнеровозов длиной 231 ÷ 320 м.

Условие	Диапазон значений
Диапазон чисел Критерия Рейнольдса	$(5,8 \div 19,0)10^8$
Относительная ширина узкости	$0,2 \div 0,4$
Критерий Фруда по длине судна	$0,019 \div 0,069$ и $0,120 \div 0,184$
Отношение динамической осадки к глубине места	$\geq 0,89$
Отношение глубины места к длине судна	$0,041 \div 0,062$
Отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик	$0,20 \div 0,31$
Критерий Фруда по глубине места	$0,09 \div 0,42$

В данном диапазоне чисел критерия Рейнольдса кризисная зона коэффициента сопротивления пластины параллельной потоку. Ширина узкости показывает неизбежное взаимодействие корпусов. Сочетание значений критерия Фруда по длине судна и отношения глубины места к длине судна соответствуют условию быстрой смены благоприятных и неблагоприятных условий интерференции судовых волн. Отношение динамической осадки к глубине места – под килем практически нет запаса глубины. Отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик – условия сильного влияния дна.

Информационная модель аварий судов-контейнеровозов длиной 231-320 м не имеет принципиальных отличий от полученных ранее моделей для разнотипных судов [1, 3]. Существенное отличие только в более сильных связях диапазонов условий с длиной судна. Возможно в этом проявилась подобная форма судов одного типа.

Таблица 5

Информационная модель условий аварий-столкновений контейнеровозов длиной 161 ÷ 230 м

Условие	Диапазон значений
Отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик	$\geq 0,5$ и $0,2$
Диапазон чисел Критерия Рейнольдса	$(5,8 \div 19,0)10^8$
Критерий Фруда по длине судна	$0,120 - 0,184$
Отношение динамической осадки к глубине места	$0,77 \div 0,88$ и $\geq 0,89$
Критерий Фруда по глубине места	$\geq 0,60$
Относительная ширина узкости	$0,5 \div 0,7$
Отношение глубины места к длине судна	$0,098 \div 0,119$

Отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик – условия сильного влияния дна. В данном диапазоне чисел критерия Рейнольдса кризисная зона коэффициента сопротивления пластины параллельной потоку. Ширина узкости показывает неизбежное взаимодействие корпусов. Сочетание значений критерия Фруда по длине судна и отношения глубины места к длине судна соответствуют условию быстрой смены благоприятных и неблагоприятных условий интерференции судовых волн. Отношение динамической осадки к глубине места – под килем практически нет запаса глубины.

Информационная модель условий аварий судов-контейнеровозов длиной 161 - 230 м не имеет принципиальных отличий от полученных ранее моделей для разнотипных судов. Существенное отличие только в более сильных связях диапазонов условий с длиной судна. Возможно в этом проявилась подобная форма судов одного типа.

Таблица 6

Информационная модель условий аварий-столкновений контейнеровозов длиной 117 ÷ 160 м.

Условие	Диапазон значений
Отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик	0,32 ÷ 0,49
Диапазон чисел Критерия Рейнольдса	(2,9 ÷ 5,8)10 ⁸
Относительная ширина узкости	0,5 ÷ 0,8 ÷ 1,3
Критерий Фруда по длине судна	0,019 ÷ 0,069
Критерий Фруда по глубине места	0,22 ÷ 0,42
Отношение динамической осадки к глубине места	0,77 – 0,88
Отношение глубины места к длине судна	0,063 ÷ 0,094

Информационная модель аварий судов-контейнеровозов длиной 117 - 160 м не имеет принципиальных отличий от полученных ранее моделей для разнотипных судов и от моделей аварий контейнеровозов третьего и четвертого классов. Существенное отличие только в более сильных связях диапазонов условий с длиной судна. Возможно в этом проявилась подобная форма судов одного типа.

Информационная модель условий аварий судов-контейнеровозов длиной 48 – 116 м рискованно объяснять диапазонами условий. Возможно проявление человеческого фактора в организации и несении вахты: наблюдение, компетентность, усталость.

Таблица 7

Информационная модель условий аварий-столкновений контейнеровозов длиной 48 ÷ 117 м.

Условие	Диапазон значений
Отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик	≥0,5 и 0,32 ÷ 0,49
Отношение глубины места к длине судна	0,120 ÷ 0,137
Критерий Фруда по длине судна	0,185 ÷ 0,253
Диапазон чисел Критерия Рейнольдса	(1,1 ÷ 2,9 ÷ 5,8)10 ⁸
Критерий Фруда по глубине места	≥0,60
Относительная ширина узкости	0,3 ÷ 0,4
Отношение динамической осадки к глубине места	0,10 - 0,58 ÷ 0,76

ВЫВОДЫ: Для судов длиной 161- 320 м характерны более высокие значения чисел критерия Рейнольдса, чем для судов меньшей длины. Попытки оценки скорости судов на ограниченных глубинах [3] показывают, что большинство судов участников навигационных аварий превышали скорость, соответствующую глубине места.

Отношение динамической осадки к глубине места – для судов длиной 161- 320 м под килем практически нет запаса глубины, а для судов меньшей длины существенно влияние сочетания значений критерия Фруда по длине судна и отношения глубины места к длине судна соответствующих условию быстрой смены благоприятных и неблагоприятных условий интерференции судовых волн.

Сочетание относительной ширины узкости и чисел Рейнольдса позволяет предполагать гидродинамическое взаимодействие корпусов судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.А.Данилов, Г.Н.Гаврильченко. Навигационные аварии столкновения судов стесненных глубиной и узкостью (четыре типа: танкеры, балкеры контейнеровозы, генеральные грузы). Балтийский морской форум: 2020. – Калининград, Россия,
2. Browns, Son & Ferguson Ltd. Brown`s Nautical Almanac. – Brown, Son & Ferguson, Ltd. , Glasgow . 2018
3. Данилов Ю.А. Исследование условий навигационных аварий судов в узкостях на ограниченных глубинах: монография / Ю.А. Данилов. – Калининград: Изд-во БГАРФ. 2020. - 189 с.

NAVIGATION ACCIDENTS OF CONTAINER SHIP COLLISIONS AT LIMITED DEPTHS IN NARROWS

¹Danilov Yuriy Aronovich, Ph.D., Professor of the Department of Navigation

²Gavrilchenko Galina Nikolaevna, Senior Lecturer, Safety of Navigation Department

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU», Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹yreydanilov@yandex.ru; ²galina.gavrilchenko@mail.ru

Previously, we carried out a study of the conditions of navigational accidents of ships at limited depths in narrow areas, assuming the similarity of the accident phenomenon. However, for vessels of various types, there is a significant difference in the block coefficient, i.e. body shape. In order to assess the influence of the hull shape, a study of conditions for a group of container ship accidents was carried out. The results of the study show that in information models of the same type of vessels, stronger connections are manifested.

УДК656.61.052

НАВИГАЦИОННЫЕ АВАРИИ СТОЛКНОВЕНИЯ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ НА ОГРАНИЧЕННЫХ ГЛУБИНАХ В УЗКОСТЯХ, ОЦЕНКА СОПРЯЖЕННЫХ ФАКТОРОВ

¹Данилов Юрий Аронович, канд. техн. наук, профессор кафедры судовождения

²Гаврильченко Галина Николаевна, ст. преподаватель кафедры безопасность мореплавания

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹yreydanilov@yandex.ru; ²galina.gavrilchenko@mail.ru

Исследование условий навигационных аварий судов одного типа, т. е. примерно одинаковых по форме корпуса, показало более четкие информационные связи условий и длины судна. Поскольку практически все условия движения судна проявляются одновременно и совместно нами выполнен анализ сопряженных факторов, предположительно взаимодействующих условий. Это позволило выделить наиболее важные сочетания условий.

В предыдущих исследованиях был отражен анализ условий столкновений разных типов судов [1]: танкеров, балкеров, перевозчиков генеральных грузов и контейнеровозов. Объединив суда близкие по блок-коэффициенту в одни группы [2], было отмечено, что суда имеют разные диапазоны по длине. В группы были объединены суда одного типа, имеющие одни геометрически подобные обводы корпуса.

Условия столкновений контейнеровозов были представлены в работе [3], где рассматривалось 35 аварий, распределенных по массивам данных на четыре класса. Исходные данные были объединены по критериям. Распределение по классам показано в таблице 1, а коэффициенты информационной связи условий и длины судов показаны в таблице 2 в предшествующей работе [3].

Сумма мер связи семи факторов и длины судов превышает неопределенность длины судов. Сумма коэффициентов информационной связи факторов и длины судов превышает единицу. И то и другое показывает взаимодействие некоторых факторов (определяющих условий) между собой и возможное совместное влияние условий на судно. Взаимодействие условий позволяет выявить анализ сопряженных факторов.

Семь факторов, рассматриваемых в этой работе, для анализа сопряженных факторов удобно представить в сочетаниях по три фактора. Возможно 15 вариантов сочетания одного фактора с другими двумя. Всего при этом получим 34 сочетания.

Например, сочетания для фактора отношения динамической осадки к глубине места судна показали усиление связи в диапазоне от 1,03 до 1,98. Результаты анализа сопряженных факторов приведены в таблице 3. По существу, рассмотрено взаимовлияние отношения динамической осадки судна к глубине места аварии и всех остальных факторов. Из 15 вариантов пять показали усиление влияния практически вдвое, два случая - незначительное влияние. В усилении связи комплекса условий с длиной судна обязательно проявились следующие условия: динамическая осадка судна, глубина места аварии, скорость судна и одно из трех следующих условий глубина оценки маневренных характеристик судна, длина судна, относительная ширина узкости.

С учетом этих трех дополняющих условий полезно проверить сопряженные факторы критериев $H_{\Phi}/H_{\text{ман}}$ и $V_{\Phi}/(7V_{\text{Б}} + 4V_{\text{М}})$ в сочетании с остальными критериями.

Слабое взаимодействие условий на усиление влияния совпадает с достаточно сильными индивидуальными коэффициентами связи условий и длины судов. Например, если три сопряженных фактора определяют аварию не менее, чем на половину (сумма трех коэффициентов не менее 0,5) например, сочетание отношения глубины к длине судна, критерия Фруда по длине судна и критерия Рейнольдса сумма коэффициентов 0,69 практически равна коэффициенту этих трех сопряженных факторов. При этом можно утверждать, что критерий Рейнольдса в данном сочетании условий элиминирует взаимовлияние двух других критериев, поскольку их взаимовлияние дает усиление в 1,4 раза.

Условия усиления влияния критериев по сочетанию трех критериев: $T_{\text{дин}}/H_{\Phi}$ и два фактора из семи исследуемых показаны в таблице 1.

Для судов длиной 231 ÷ 320 м из всех 15 сочетаний выявлено следующее. Для пяти сочетаний усиление 1,8 ÷ 1,98 в тройку входят: отношение динамической осадки судна к глубине места $T_{\text{дин}}/H_{\Phi} \geq 0,89$ – практически нет запаса глубины под килем; относительная узкость менее единицы.

Факторы (критерии) в таблице 1 имеют следующие коды:

$H_{\Phi}/H_{\text{ман}}$ имеет код 1, $T_{\text{дин}}/H_{\Phi}$ имеет код 2, Fr_{H} имеет код 3, $V_{\Phi}/(7V_{\text{Б}} + 4V_{\text{М}})$ имеет код 4, $H_{\Phi}/L_{\text{С}}$ – 5, Fr_{L} – 6, Re – 7.

Неизбежно влияние расходящихся судов и границ узкости; малые значения критерия отношения глубины к длине судна и критерия Фруда по длине судна – сочетание этих величин показывает условия изменчивости интерференции судовых волн, т.е. нестабильность линейной и угловой скорости движения судна. В пяти случаях усиление влияния порядка 1,5 в пяти случаях усиление менее, чем 1,5 (сумма коэффициентов примерно равна коэффициенту сопряженных факторов).

Для судов длиной 161 – 230 м выявлено следующее: в тройку входят: отношение динамической осадки судна к глубине места $T_{\text{дин}}/H_{\Phi} \geq 0,77$ – практически нет запаса глубины под килем; относительная узкость менее единицы – неизбежно влияние расходящихся судов и границ узкости; большие числа критерия Рейнольдса $(5,8 \div 10,3)10^8 - (10,8 \div 19,0)10^8$.

Для судов длиной 117 – 160 м из всех 15 сочетаний следующее: в тройку входят: отношение динамической осадки судна к глубине места $T_{\text{дин}}/H_{\Phi}$ 0,5- 0,88 – малый запас глубины или практически нет запаса глубины под килем; относительная узкость менее единицы – неизбежно влияние расходящихся судов и границ узкости; отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик судна 0,32 - 0,49 - сильное влияние дна.

Для судов длиной менее 117 м характерны очень малый запас глубины под килем; относительная узкость 0,3 – 0,4; высокая безразмерная скорость судна.

В целом все семь факторов показали достаточно надежные связи. Их влияние на движение судна вполне очевидно. Перебор всех сочетаний для относительной осадки подтвердил случаи существенного влияния узкости и глубины оценки маневренных характеристик судна. С формальных позиций можно проверить и все остальные сочетания условий, сопутствовавших навигационным авариям: условия усиления влияния критериев по сочетанию трех критериев: $H_{\Phi}/H_{\text{ман}}$ и два фактора из семи исследуемых; условия усиления влияния критериев по сочетанию трех критериев: $V_{\Phi}/(7V_{\text{Б}} + 4V_{\text{М}})$ и два фактора из семи исследуемых.

Полученные в данной работе результаты не противоречат информационным моделям навигационных аварий [4, 5, 6]. Рассмотрение серии аварий судов с одинаковым значением блок-коэффициента показало более четкие информационные связи условий аварий. Следовательно, рассмотрение серий аварий с учетом блок-коэффициента более удобно для оценки стесненных условий плавания судна.

Для подтверждения актуальности данной проблемы были рассмотрены материалы Предварительного годового обзора морских аварий и инцидентов за апрель 2021 года EMSA (European Maritime Safety Agency) Европейского агентства по безопасности мореплавания [7]. Из всего массива различных типов аварий можно выделить аварии, имеющие наибольшее количество случаев, начиная от 2014 по 2020 годы. Причем, эти типы аварий имеют прямое отношение к производственному исследованию, так как это касается столкновений судов и посадок судов на мель. Остальные выбранные аварии, по сути, являются предпосылками к данным видам аварий (отказ оборудования или потеря управляемости) или их недостаточным проявлением (контакты). Так, потеря управляемости является лидером среди остальных аварий, в 2014 году произошло 602 случая, в 2015 году – 583, в 2016 году – 684, в 2017 году – 756, в 2018 году – 772, в 2019 году – 863 и в 2020 году – 767 случаев. Остальные типы аварий по количеству случаев почти в 2,5 раза меньше.

Таблица 1

Сравнение коэффициентов информационной связи трех сопряженных факторов

Коды сопряженных факторов	Условия объединенные в критерии	Меры связи Факторов с длиной судна	Коэффициенты связи факторов, k_i	Σk_i	Коэффициент сопряженных факторов	Усиление связи
1, 2, 3	$T_{дин}; H_{ф}; H_{ман}; V; g;$	0,397; 0,259; 0,260	0,198; 0,129; 0,130	0,457	0,513	1,25
1, 2, 4	$T_{дин}; H_{ф}; H_{ман}; V; V_{ф}; V_{Б}; V_{М}$	0,397; 0,259; 0,258	0,198; 0,129; 0,129	0,456	0,696	1,56
1, 2, 5	$T_{дин}; H_{ф}; H_{ман}; L; V_{ф}; V_{Б}; V$	0,397; 0,259; 0,433	0,198; 0,129; 0,216	0,545	0,786	1,45
1, 2, 6	$T_{дин}; H_{ф}; H_{ман}; V; g; L$	0,397; 0,259; 0,435	0,198; 0,129; 0,217	0,47	0,790	1,78
1, 2, 7	$T_{дин}; H_{ф}; H_{ман}; V; g; L$	0,397; 0,259; 0,520	0,198; 0,129; 0,260	0,587	0,786	1,33
2, 3, 4	$T_{дин}; H_{ф}; g; V; V_{ф}; V_{Б}; V_{М}$	0,259; 0,260; 0,258	0,198; 0,130; 0,129	0,388	0,770	1,98
2, 3, 5	$T_{дин}; H_{ф}; V; g; L$	0,259; 0,260; 0,433	0,129; 0,130; 0,216	0,469	0,732	1,33
2, 3, 6	$T_{дин}; H_{ф}; V; g; L$	0,259; 0,260; 0,435	0,129; 0,130; 0,217	0,476	0,786	1,67
2, 3, 7	$T_{дин}; H_{ф}; V; g; L; v$	0,259; 0,260; 0,520	0,129; 0,130; 0,260	0,419	0,787	1,88
2, 4, 5	$T_{дин}; H_{ф}; V_{ф}; V_{Б}; V_{М}; L$	0,259; 0,258; 0,433	0,129; 0,128; 0,216	0,374	0,67	1,79
2, 4, 6	$T_{дин}; H_{ф}; V_{ф}; V_{Б}; V_{М}; L;$	0,259; 0,258; 0,435	0,129; 0,128; 0,217	0,475	0,866	1,83
2, 4, 7	$T_{дин}; H_{ф}; V_{ф}; V_{Б}; V_{М}; L; V; g$	0,259; 0,258; 0,520	0,129; 0,128; 0,260	0,518	0,778	1,5
2, 5, 6	$T_{дин}; H_{ф}; L; V;$	0,259; 0,433; 0,435	0,129; 0,216; 0,217	0,562	0,767	1,36
2, 5, 7	$T_{дин}; H_{ф}; g; L; V;$	0,259; 0,433; 0,520	0,129; 0,216; 0,260	0,505	0,72	143
2, 6, 7	$T_{дин}; H_{ф}; g; L; V; v.$	0,259; 0,435; 0,520	0,129; 0,217; 0,260	0,606	0,625	1,03

Отказ оборудования был отмечен в 2014 году в 289 случаях, в 2015 году в 363 случаях, в 2016 году – 358, в 2017 году – 314, в 2018 году – 348, в 2019 году – 320, в 2020 году в 310 случаях. Контакты происходили в следующем соотношении: в 2014 году – 393 случая, в 2015 году – 409 случаев, в 2016 году – в 357 случаях, в 2017 году – 424 случая, в 2018 году – 393 случая, в 2019 – 370 случаев и в 2020 году – 349 случаев. Прослеживается стабильность и высокий уровень аварийности. Столкновения судов за семь лет происходили в следующих количествах: в 2014 году – 334 случая, в 2015 году – 296 случаев, в 2016 году – в 320 случаев, в 2017 году – в 297 случаев, в 2018 году – в 293 случаев, в 2019 году – в 295 случаях и, наконец, в 2020 году – в 165 случаях. Посадки на мель происходили аналогично: в 2014 году в 335 случаях, в 2015 году – в 332 случаях, в 2016 году – в 295 случаях, в 2017 году – 298, в 2018 году – 312, в 2019 году – в 253 случаях и в 2020 году в 216 случаях.

Прослеживается снижение количества аварий различных типов в 2020 году, которое проявилось из-за экономического кризиса в транспортной инфраструктуре, связанном с пандемией коронавируса. Для лучшей наглядности эти сведения отразили в виде графика на рисунке 1.

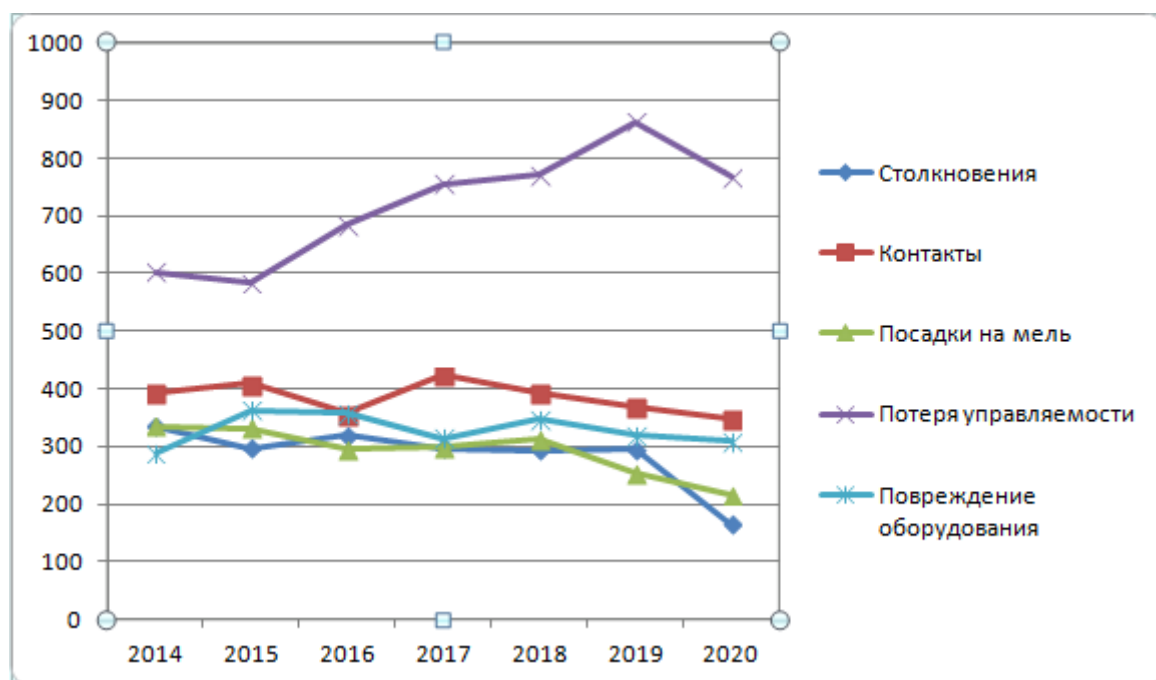


Рис. 1. Количество аварий по типам с 2014 по 2020 годы

Потеря управляемости может привести и к посадке судна на мель, если эта авария происходит в стесненных водах и на мелководье, к столкновениям судов, если это район интенсивного судоходства. Поскольку этот вид аварии не привел к серьезным последствиям, его выделили в отдельный тип. К сожалению, не все доклады инспекторов снабжены очень подробной информацией о сопутствующих авариям условиях и, за семь лет собранной информации будет слишком мало сведений для исследований, поэтому охват времени и районов намного шире, нежели европейская аварийность EMSA. Поэтому дальнейшие исследования и сбор информации будут продолжены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н. Связи длины судна и условий столкновения судов на ограниченных глубинах в узкости. III Балтийский морской форум Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» Тезисы докладов, 2015.
2. Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н. Объединенная модель посадок судов на грунт и столкновений в узкостях на ограниченных глубинах. Балтийский морской форум: 2016. С. 76 – 84.
3. Ю.А. Данилов, Г.Н. Гаврильченко. Навигационные аварии столкновения контейнеровозов на ограниченных глубинах в узкостях оценка сопряженных факторов. Балтийский морской форум: 2021. – Калининград, Россия.

4. Ю.А.Данилов, Г.Н.Гаврильченко. Навигационные аварии столкновения судов, стесненных глубиной и узкостью (четыре типа: танкеры, балкеры контейнеровозы, генеральные грузы). Балтийский морской форум: 2020. – Калининград, Россия.

5. Browns, Son & Ferguson Ltd. Brown`s Nautical Almanac. – Brown, Son & Ferguson, Ltd. , Glasgow. 2018.

6. Данилов Ю.А. Исследование условий навигационных аварий судов в узкостях на ограниченных глубинах: монография / Ю.А. Данилов. – Калининград: Изд-во БГАРФ. 2020. -189 с.

7. Preliminary Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2014-2020 April 2021 <http://www.emsa.europa.eu/accident-investigation-publications/annual-overview.html>

NAVIGATIONAL ACCIDENTS OF COLLISION OF CONTAINER SHIPS AT LIMITED DEPTHS IN NARROWS, ASSESSMENT OF CONJUGATED FACTORS

¹Danilov Yuriy Aronovich, Ph.D., Professor of the Department of Navigation

²Gavrilchenko Galina Nikolaevna, Senior Lecturer, Safety of Navigation Department

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹yreydanilov@yandex.ru; ²galina.gavrilchenko@mail.ru

A study of the conditions of navigation accidents of vessels of the same type, i.e. approximately the same hull shape, showed clearer information links between the conditions and the length of the vessel. Since almost all the conditions of the ship's movement are manifested simultaneously and together we have performed an analysis of conjugate factors, presumably interacting conditions. This highlighted the most important combinations of conditions.

УДК 656.61.052

НАВИГАЦИОННЫЕ АВАРИИ СТОЛКНОВЕНИЯ СУДОВ, СТЕСНЕННЫХ ГЛУБИНОЙ И УЗКОСТЬЮ (ЧЕТЫРЕ ТИПА: ТАНКЕРЫ, БАЛКЕРЫ, КОНТЕЙНЕРОВОЗЫ, ГЕНЕРАЛЬНЫЕ ГРУЗЫ)

¹Данилов Юрий Аронович, канд. техн. наук, профессор кафедры судовождения

²Гаврильченко Галина Николаевна, ст. преподаватель кафедры безопасность мореплавания

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,

Калининград, Россия, e-mail: ¹yreydanilov@yandex.ru; ²galina.gavrilchenko@mail.ru

Значительная часть столкновений судов в стесненных водах на мелководье происходит из-за недооценки Maxitum Ship Squat. Maxitum Squat напрямую зависит от типа и посадки судна – от Св блок-коэффициента. Для улучшения качества эксперимента предложено проверить информационные связи на однородных группах судов, имеющих примерно одинаковый Св. В каждой группе судов произведена разбивка на две группы по длине менее 142 м и более 142 м. Информационные модели судов четырех типов показали существенные различия по части условий. Желательно расширять количество анализов аварий одного типа судов.

Наши исследования условий навигационных аварий судов [1, 2, 3, 4] стесненных глубиной и узкостью показали существенное влияния условий, создающих нестабильность движения судна: линейной и угловой скорости, а также сильное взаимодействие условий, что может приводить к значительному ухудшению маневренных характеристик судна (в два-три раза).

Исследования доктора С.В. Barrass [5], показывают, что навигационные аварии происходят из-за занижения расчетной величины – динамической осадки судна. Основную причину видят в блок-коэффициенте, т.е. в форме корпуса судна. К сожалению, мы не имеем возможности получить точные данные по блок-коэффициенту всех судов-участников аварий с учетом осадки и дифферента. В учебной и технической литературе нет оценки точности расчёта динамической осадки судна [6, 7, 8].

Цель данного исследования проверить информационные связи условий аварий и типового блок-коэффициента характерного для каждого типа судов.

В исследовании собраны следующие массивы данных: тип судов – 115 судов четырех типов; танкеры, балкеры контейнеровозы. генеральные грузы; L - длина судов, м; $T_{дин}/H_{Ф}$ - отношение динамической осадки судна к глубине места, безразмерно; $T_{дин}/H_{М}$ - отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости; $F_{ГНф}$ – критерий Фруда по глубине места аварии; $F_{ГL}$ – критерий Фруда по длине судна; $H_{Ф}/L$ – критерий отношение глубины места к длине судна; $H_{Ф}/H_{М}$ – Критерий отношение глубины места к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости; относительная ширина узкости $V_{Ф}/\Sigma B$, где $\Sigma B = 7B_{Б} + 4B_{М}$ ширина полосы исключая взаимное влияние судов, $V_{Ф}$ ширина узкости. Таблица 1 показывает диапазоны каждого массива данных и количество наблюдений в каждом поддиапазоне, что соответствует методике исследования - информационно-логическому анализу.

В таблице 2 показаны информационные функции связи условий и типов судов. Практически все характеристики показывают связи с типами судов и возможность оценки каналов информационной связи.

В таблице 3 показаны индексы каналов информационной связи диапазонов условий и типов судов в последовательности их информативности. Поэтому информационные модели аварий типов судов начинаются с наиболее значимых для них условий.

Таблица 1

Сводка кодирования

Имя условия	Диапазоны классов и количество в классе			
	1	2	3	4
Тип судна	Балкер/25	Танкер/25	Ген. груз/29	Контейнеровоз/36
Длина судна	< 90 м/30	(91 ÷ 142 м)/30	(143 ÷ 195 м)/26	(196 ÷ 333 м) /29
$T_{дин}/H_{Ф}$	≤0,40/27	(0,41 ÷ 0,58)/27	(0,59 ÷ 0,82)/29	(0,83 ÷ 1,13)/32
$F_{ГНф}$	≤0,30/23	(0,31 ÷ 0,408)/29	(0,41 ÷ 0,52)/30	>0,52/31
$F_{ГL}$	≤0,100/29	(0,101 ÷ 0,147)/29	(0,148 ÷ 0,188)/29	> 0,189/28
$H_{Ф}/L$	≤0,070/30	(0,071 ÷ 0,110)/28	(0,111 ÷ 0,150)/27	> 0,151/30
$H_{Ф}/H_{М}$	(0,1 ÷ 0,3)/49	(0,4 ÷ 0,5)/37	> 0,5/29	
$\Sigma B = 7B_{Б} + 4B_{М}$	≤0,5/30	(0,6 ÷ 1,1)/28	(1,2 ÷ 2,0)/27	> 2,1/30
$T_{дин}/H_{М}$	≤0,234/27	(0,235 ÷ 0,245)/27	(0,246 ÷ 0,251)/29	> 0,252/32

Таблица 2

Информационные функции связи условий с типом судов

Условие (критерий)	$N_{условия}$	$N_{типа судна}$	Совместная неопределенность	Мера связи	Коэффициент связи
L	1,999	1,991	3,805	0,185	0,093
$T_{дин}/H_{Ф}$	2,000	1,991	3,906	0,085	0,043
$F_{ГН}$	1,992	1,991	3,888	0,095	0,048
$F_{ГL}$	1,998	1,991	3,757	0,232	0,131
$H_{Ф}/H_{М}$	1,554	1,991	3,392	0,153	0,076
$H_{Ф}/L$	1,996	1,991	3,714	0,273	0,136
$V_{Ф}/\Sigma B$	1,998	1,991	3,954	0,035	0,018
$T_{дин}/H_{М}$	1,997	1,991	3,771	0,217	0,109

1 Информационная модель столкновения контейнеровозов в условиях, стесненных глубиной и узкостью

Суда длиной от 91 м до 333 м сталкивались в следующих условиях:

Критерий Фруда по длине судна менее 0,100;

Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии более 0,59, и более 1,0 – показатель сомнительного учета динамической осадки судна;

Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости больше 0,252;

Критерий Фруда по глубине места аварии менее 0,30 и более 0,52;

Отношение глубины места аварии к длине судна менее 0,07;

Относительная ширина места аварии менее 1,1.

Вывод: Относительная ширина места аварии менее 1,1 показывает влияние взаимодействия корпусов судов:

1. Сочетание относительной глубины по длине судна менее 0,07 и критерия Фруда по длине судна менее 0,100 - это зона быстрых изменений благоприятных и неблагоприятных условий движения судна - нестабильность движения судна.

2. Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости больше 0,252, т.е. более 0,245 показывает превышение скорости, на которой исключено влияние глубины места на управляемость судна.

3. Критерий Фруда по глубине места аварии менее 0,30 – условия нестабильного движения судна по скорости и сопротивлению воды; критерий более 0,52 - сильное влияние волнообразования.

4. Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии более 0,59, возможно ухудшение управляемости судна в два-три раза и возможно влияние эффекта присасывания к грунту, более 1,0 – показатель сомнительного учета динамической осадки судна;

Таблица 3

Информационная модель навигационных аварий столкновений судов (балкеры, танкеры, суда генеральных грузов, контейнеровозы)

Код Канала связи	Тип судна, блок-коэффициент				Передача Информации	Диапазон класса условия
	балкер	танкер	Ген. Груз.	Контейнеро-воз		
	0,775÷0825	0,800	0,700	0,575		
L4	0,079	-	-	0,111	0,339	196÷333 м
L1	-	0,050	0,248	-	0,263	<90 м
F _{ГЛ} 1	0,093	-	-	0,135	0,218	<0,100
T _{дин} /H _Ф 3	-	-	-	0,062	0,206	0,59÷0,82
H _Ф /H _М 1	-	0,13	0,136	-	0,180	0,1÷0,3
T _{дин} /H _М 4	-	0,024	-	0,135	0,150	≥0,252
F _{ГН} 1	0,057	-	-	0,116	0,140	≤0,30
L3	0,153	-	-	0,063	0,130	143÷195 м
F _{ГЛ} 3	-	-	0,105	-	0,135	0,1480,188
F _{ГН} 4	-	0,005	-	0,100	0,129	≥0,252
H _Ф /L 1	-	0,013	-	0,120	0,122	<0,70
F _{ГЛ} 2	-	0,059	0,058	-	0,115	0,101÷0,148
V _Ф /(7V _Б + 4V _М) 2	-	0,83	-	0,054	0,109	0,6÷1,1
T _{дин} /H _М 2	-	-	0,141	-	0,098	0,235÷0,245
V _Ф /(7V _Б + 4V _М) 1	0,050	-	-	0,054	0,095	<0,5
H _Ф /L 2	0,033	-	-	0,080	0,084	0,071÷0,110
T _{дин} /H _Ф 2	0,118	0,079	0,007	-	0,081	0,41÷0,58
L2	-	0,073	0,006	0,053	0,061	91÷142 м
H _Ф /H _М 3	0,024	0,162	-	-	0,060	>0,5/29
T _{дин} /H _М 3	0,150	-	-	-	0,055	0,246÷0,251
H _Ф /L 2	0,033	-	-	0,080	0,084	0,071÷0,110

$T_{дин}/H_{Ф} 4$	0,012	-	-	0,062	0,050	$0,83 \div 1,13$
$F_{ГН} 2$	0,072	0,055	0,043	-	0,048	$0,31 \div 0,408$
$F_{ГН} 3$	-	-	0,066	-	0,046	$0,41 \div 0,52$
$T_{дин}/H_{Ф} 1$	-	-	0,081	-	0,044	$\leq 0,40$
$H_{Ф}/L 4$	-	--	0,093	-	0,035	$> 0,5$
$F_{ГЛ} 4$	-	0,060	-	-	0,018	$> 0,189$
$V_{Ф}/(7V_{Б} + 4V_{М}) 4$	-	-	0,081	-	0,027	$> 2,1$

2 Информационная модель столкновения танкеров в условиях, стесненных глубиной и узкостью

Длина судов до 142 м.

Весь диапазон относительных глубин массива данных $H_{Ф}/H_{М}=0,1 \div 0,9$

Критерий Фруда по глубине места аварии менее $0,31 \div 0,40$.

Отношение глубины места аварии к длине судна менее 0,07.

Критерий Фруда по длине судна менее 0,100 и более 0,189.

Относительная ширина места аварии $0,6 \div 1,1$.

Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии $0,41 \div 0,59$

Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости больше 0,252.

Вывод:

- 1 Влияние относительных глубин $H_{Ф}/H_{М}$ проявилось во всех авариях судов этого типа.
- 2 Отношение глубины места аварии к длине судна менее 0,07 и Критерий Фруда по длине судна менее 0,100 - это зона быстрых изменений благоприятных и неблагоприятных условий движения судна - нестабильность движения судна.
3. Критерий Фруда по глубине места аварии менее $0,31 \div 0,40$ - нет ограничений движения судна.
- 4 Относительная ширина места аварии $0,6 \div 1,1$ - проявилось взаимодействие корпусов судов.
- 5 Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии $0,41 \div 0,59$ - на относительных глубинах менее 0,59 происходит более 60% навигационных аварий
- 6 Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости больше 0,252 - показывает завышение скорости.

3 Информационная модель столкновения судов генеральных грузов в условиях, стесненных глубиной и узкостью

Длина судов до 142 м.

Критерий Фруда по длине судна $0,101 \div 0,188$.

Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости 0,235 - 0,245 показывает возможное превышение скорости.

Критерий Фруда по глубине места аварии 0,31 - 0,52;

Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии менее 0,58.

Отношение глубины места аварии к длине судна более 0,151.

Относительная ширина места аварии более 2,1

Вывод

1. Совместное влияние Критерия Фруда по длине судна и отношения глубины места аварии к длине судна не значительное.
2. Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости показывает возможное превышение скорости, желательна оценка по величине критерия в каждом отдельном случае.
3. Критерий Фруда по глубине места аварии менее 0,52 - нет ограничений движения судна.
4. Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии менее 0,58 - на меньших относительных глубинах происходит более 60% навигационных аварий.

5. Относительная ширина места аварии более 2,1 показывает возможность исключить взаимодействия корпусов судов.

4 Информационная модель столкновения балкеров в условиях стесненных глубины и узкостью

Длина судов $143 \div 333$ м.

Критерий Фруда по длине судна менее 0,101.

Критерий Фруда по глубине места аварии менее 0,41.

Относительная ширина места аварии менее 0,5.

Отношение глубины места аварии к длине судна $0,071 \div 0,110$.

Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии $0,41 \div 1,13$.

Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости 0,235 - 0,245.

Вывод

1. Совместное влияние Критерия Фруда по длине судна и отношения глубины места аварии к длине судна показывает возможность нестабильного движения судна из-за изменчивости интерференции судовых волн.

2. Критерий Фруда по глубине места аварии менее 0,41 влияние незначительно.

3. Относительная ширина места аварии менее 0,5 – условия сильного взаимодействия корпусов судов.

4. Отношение динамической осадки судна к глубине места аварии $0,41 \div 1,13$ на относительных глубинах более 0,4 происходит большинство навигационных аварий.

5. Отношение динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна на данной скорости 0,235 - 0,245 завышение скорости.

В результате рассмотренного выше подведем итог:

Вряд ли все суда одного типа являются масштабной серией по линейному масштабу и обладают одинаковым блок-коэффициентом. В последние десятилетия было достаточно случаев увеличения длины судна цилиндрической вставкой. В этих случаях значительно увеличивалась полнота судна.

Информационные модели судов четырех типов показали по части условий существенные различия. Однако, важно и то что в каждой группе судов объединены суда разной длины: одни группы – длина не более 142 м, в других группах от 142 м до 330 м. С учетом этого замечания полученные модели аварий желательно дополнить анализом аварий судов одного типа.

Кроме представленных информационных результатов по критерию отношения динамической осадки судна к глубине оценки маневренных характеристик судна получено четкое представление о завышении скорости судов на ограниченных глубинах. С позиций посадки судов на грунт этот результат не критичен. Однако с позиций управляемости судна это может быть определяющим фактором.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н. Посадки на грунт и столкновения судов на ограниченных глубинах в узкостях как натурный эксперимент. XI Международная конференция «Инновация в науке образовании и бизнесе» 23-27 сентября 2013 г Калининград: изд. КГТУ, 2013.С/ 303- 305
2. Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н Связи длины судна и условий посадки судна на грунт II Балтийский морской форум Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» Тезисы докладов 2014/ С/ 35 - 40
3. Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н Связи длины судна и условий столкновения судов на ограниченных глубинах в узкости. III Балтийский морской форум Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» Тезисы докладов 2015
4. Данилов Ю.А., Гаврильченко Г.Н. Объединенная модель посадок судов на грунт и столкновений в узкостях на ограниченных глубинах. Балтийский морской форум: 2016. С/ 76 – 84
5. Browns, Son & Ferguson Ltd. Brown`s Nautical Almanac. – Brown, Son & Ferguson, Ltd., Glasgow. 2018
6. Баранов Ю.К., Гаврюк М.И., Логиновский В.А., Песков Ю.А. Учебник по навигации. СПб: «Лань», 1997. – 510 с.

7. Дёмин С.И., Жуков Е.И., Кубачёв Н.А. Управление судном. Учебник для вузов. Под редакцией В.И. Снопкова. – М. Транспорт. 1991. -359 с.

8. Дмитриев В.И., Григорян В.Л., Катенин В.А. Навигация и лоция. Учебник для вузов/Под ред. В.И. Дмитриева. М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471 с.

NAVIGATION ACCIDENTS OF COLLISION OF VESSELS CONSTRAINED BY DEPTH AND NARROWNESS (FOUR TYPES: TANKERS, BALKERS, CONTAINER SHIPS, GENERAL CARGO)

¹Danilov Yuriy Aronovich, Ph.D., Professor of the Department of Navigation

² Gavrilchenko Galina Nikolaevna, Senior Lecturer, Safety of Navigation Department

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹yreydanilov@yandex.ru; ²galina.gavrilchenko@mail.ru

A large proportion of ship collisions in confined waters in shallow waters are due to the underestimation of the Maximum Ship Squat. Maximum Squat directly depends on the type and landing of the vessel - from C_b - ship's block coefficient. To improve the quality of the experiment, it was proposed to check information connections on homogeneous groups of ships with approximately the same C_b . Each types of vessels was divided into two groups according to the length less than 142 m and more than 142 m. information models of four types of vessels showed significant differences in terms of conditions. It is desirable to expand the number of analyzes of accidents of one type of ships.

УДК 656.61.052

АНАЛИЗ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СУДНА ПРИ ПЛАВАНИИ ПО ФАРВАТЕРУ

¹Ермаков Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры судовождения

²Малинин Никита Жанович, преподаватель кафедры судовождения

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹sv.ermakov@bgarf.ru; ²for_informatics@mail.ru

Проанализирована методика оценки навигационной безопасности при плавании судна по фарватеру и лежащая в ее основе математическая модель. Обоснована рекомендация по совершенствованию этой методики, заключающаяся в упрощении расчёта ширины безопасной полосы движения судна посредством использования информации от судового навигационного оборудования.

Введение

Безопасность является одной из основ эксплуатации морского транспорта, от которого зависит устойчивое функционирование и развитие множества отраслей. Судоводство – доминирующая отрасль мировой торговли, на долю которой приходится около 90 % международных грузовых транспортировок [1]. При этом объем мирового флота непрерывно увеличивается и возрастающая интенсивность движения в зонах оживленного судоводства приводит к постоянному повышению нагрузки на судоводителей.

В подобных условиях текущих знаний, опыта и интуиции судоводителя становится недостаточно, чтобы обеспечить эффективность практически непрерывного процесса принятия решений и

гарантировать безопасность движения. При таких обстоятельствах значительно повышается актуальность исследований, направленных на создание систем поддержки принятия решений (СППР) судоводителями и, в первую очередь, при расхождении судов (или иными словами, по предупреждению столкновений). При этом очевидно, что для создания аналитической основы СППР нужны адекватные математические модели, и к настоящему времени в научной литературе представлено достаточное для выбора и анализа их количество. Одна из таких моделей является основой методики оценки навигационной безопасности судна при его плавании по фарватеру, опубликованной Б.Е. Ивановым и А.М. Черненко в 2006 году [2]. Целью же настоящей работы является анализ применимости этой методики и обоснование рекомендаций по её модернизации.

Описание и общий анализ методики

В своём исследовании Б.Е. Иванов и А.М. Черненко указывают, что навигационная безопасность судна при его плавании по фарватеру определяется одновременным отсутствием двух событий. Первое из этих событий – столкновение с другими подвижными управляемыми объектами, находящимися в пределах фарватера, второе – выход судна за границы фарватера [2].

По мнению авторов [2] навигационная безопасность плавания судна по фарватеру (а, точнее, ее такая количественная характеристика как вероятность) определяется конечным рядом факторов, в число которых входят:

- длина, ширина судна и его маневренные характеристики;
- характеристики фарватера – его ширина и точность определения границ (кромки), а также гидрографические особенности фарватера;
- точность определения местоположения встречного судна;
- гидрометеорологические условия плавания.

Обоснование методики и математической модели опиралось на следующую формулировку начальных условий:

- ширина фарватера $S = MN$;
- линия пути исследуемого судна отстоит на расстояние r от границы фарватера, расположенной по правому борту исследуемого судна;
- погрешность определения места исследуемого судна равна u (т.е. истинные место C^* судна и траектория движения будут ближе к кромке фарватера по правому борту именно на такую величину), эта погрешность является характеристикой точности технических средств навигации;
- измеренная радиолокатором дистанция до встречного судна равна D_0 ;
- рассчитанная дистанция кратчайшего сближения равна D ;
- погрешность определения места встречного судна равна v (т.е. истинные место C_B^* судна и траектория движения будут дальше от кромки фарватера по правому борту именно на такую величину), эта погрешность является характеристикой точности радиолокатора.

Перечисленные начальные условия графически представлены на рисунке 1.

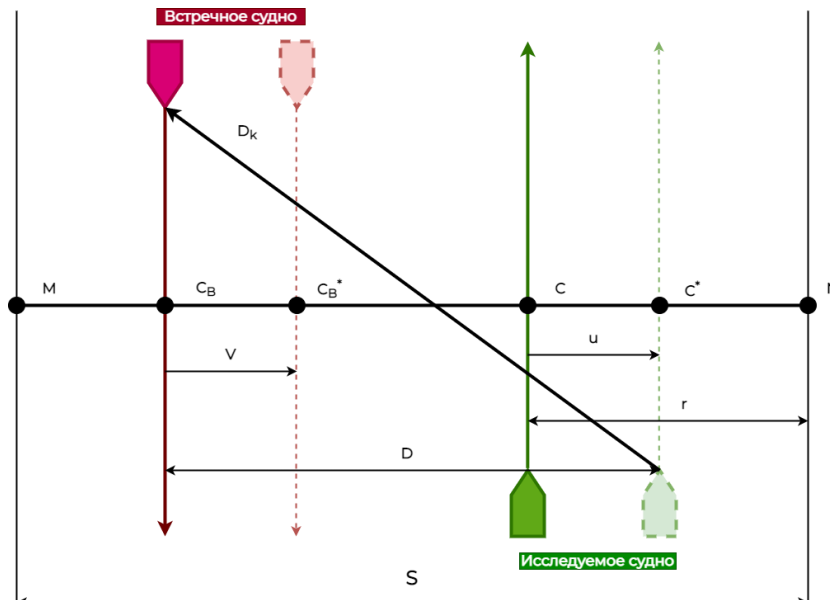


Рис. 1. Взаимное расположение исследуемого и встречного к нему судов на фарватере

Исходя из того, что погрешности u и v – независимые случайные величины, для вероятности навигационной безопасности плавания можно записать следующую формулу:

$$P = P_{\Phi}(1 - P_c), \quad (1)$$

где P_{Φ} – вероятность нахождения исследуемого судна в пределах фарватера; P_c – вероятность столкновения судов.

Столкновение судов может произойти в том случае, когда расстояние между их бортами меньше безопасного расстояния d . На основании выражения вероятности попадания случайной величины на заданный интервал вероятность P_c может быть оценена по формуле:

$$P_c = \int_{D-d-(b+b_B)/2}^{D+d+(b+b_B)/2} \varphi(v) dv, \quad (2)$$

где b и b_B – ширина безопасной полосы движения исследуемого (нашего) и встречного судов соответственно; $\varphi(v)$ – плотность распределения погрешности v .

Ширина безопасной полосы движения нашего судна:

$$b = L \sin(\alpha + \beta) + B \cos(\alpha + \beta), \quad (3)$$

где L и B – длина и ширина нашего судна соответственно; α – угол дрейфа от ветра; β – угол сноса течением.

Угол дрейфа α зависит от отношения h площадей парусности надводного и подводного бортов судна, курсового угла q_B истинного ветра и отношения скоростей истинного ветра ω и судна V . Угол сноса β в свою очередь зависит от курсового угла q_T течения и от отношения скоростей течения v_T и судна V . Значения углов дрейфа и сноса приведены в таблицах, представленных в [2].

Как правило, в качестве модели погрешности принимается нормальное распределение. Тогда формула принимает более простой для расчетов вид:

$$P_c = \Phi\left(\frac{D+d+(b+b_B)/2}{m_B}\right) - \Phi\left(\frac{D-d-(b+b_B)/2}{m_B}\right), \quad (4)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа; m_B – средняя квадратическая погрешность определения относительного места встречного судна по направлению, перпендикулярному кромкам фарватера.

Вероятность P_{Φ} зависит от ширины фарватера, погрешностей определения места нашего судна, погрешностей положения кромок фарватера и их гидродинамического влияния на корпус судна. Эта вероятность оценивается по формуле:

$$P_{\Phi} = \Phi\left(\frac{s-r-0,5b-d^*}{\sqrt{m^2+m_{K1}^2}}\right) + \Phi\left(\frac{r-0,5b-d^*}{\sqrt{m^2+m_{K2}^2}}\right), \quad (5)$$

где m , m_{K1} и m_{K2} – СКП определения места нашего судна в направлении, перпендикулярном кромкам фарватера, и положения левой и правой кромок соответственно; d^* – навигационный запас, который необходимо принимать во внимание для учёта гидродинамического взаимодействия судна с бровкой фарватера (как правило, навигационный запас равен половине ширины судна, однако в случае, если рельеф дна не претерпевает резкий подъём, навигационный запас за гидродинамическое взаимодействие с бровкой канала можно не учитывать).

Рассмотренная математическая модель описывает частный случай расхождения судов и позволяет с помощью формул (1), (3)-(5) и таблиц значений углов дрейфа и сноса выполнить заблаговременную оценку вероятности безаварийного плавания по фарватеру, которая рассматривается не только в отношении вероятности столкновения, но и вероятности нахождения своего судна в пределах фарватера. Это необходимо в стесненных навигационных условиях плавания, потому как суда расходятся на довольно малых дистанциях.

Модель имеет ограничение – она действительна лишь в случае, когда известны характеристики фарватера и параметры встречного судна.

Немаловажным преимуществом является то, что в методике расчета комплексно учитываются основные факторы, влияющие на точность координирования судов и на их движение. Принимаются во внимание погрешности определения мест своего и встречного судов в направлении, перпендикулярном фарватеру, что справедливо, так как именно эта составляющая погрешности важна для обеспечения расхождения на безопасном расстоянии судов, движущихся параллельными курсами. Самым безопасным расстоянием учитывается гидродинамическое взаимодействие судов для исключения эффекта присасывания при расхождении.

Модернизация методики – альтернативный способ расчёта безопасной полосы движения судна

В рассмотренной модели используется формула (3), в соответствии с которой ширина b безопасной полосы движения своего судна характеризуется длиной L и шириной B судна, также углом α дрейфа от ветра и углом β сноса течением. Аналогичный расчет проводится для определения ширины $b_{\text{в}}$ полосы движения встречного судна.

Длина и ширина своего судна всегда известны, аналогичные характеристики встречного судна могут быть получены с помощью приемника АИС.

Как было сказано выше, угол дрейфа своего судна α в рамках данной модели определяется отношением h площадей парусности его надводного и подводного бортов, курсовым углом $q_{\text{в}}$ истинного ветра и отношением скоростей истинного ветра ω и судна V . Угол сноса β своего судна течением определяется курсовым углом $q_{\text{т}}$ течения и отношением скоростей течения $v_{\text{т}}$ и судна V . По этим величинам входят в соответствующие таблицы и методом интерполяции находят искомые углы. Для нахождения угла дрейфа $\alpha_{\text{в}}$ и угла сноса $\beta_{\text{в}}$ течением встречного судна процедура аналогична.

Используемый способ расчёта ширины безопасной полосы затруднителен для реализации на практике, так как требует знания множества параметров. Оценить курсовой угол и скорость истинного ветра, курсовой угол и скорость течения не всегда представляется возможным, тем более в отношении встречного судна. Более того, процесс нахождения данных параметров отнимает значительное время.

Намного проще рассматривать сумму $(\alpha + \beta)$ угла дрейфа и угла сноса течением. С точки зрения навигации:

$$c = (\alpha + \beta), \quad (6)$$

где c – суммарный снос судна под действием ветра и течения.

Одновременно

$$c = \text{ПУ}_c - \text{ИК}, \quad (7)$$

где ПУ_c и ИК – путевая линия движения судна с учетом суммарного сноса и истинный курс соответственно.

На практике вышеупомянутые характеристики движения судов всегда известны и могут быть легко получены с помощью САРП как для своего, так и для встречного судна. На экране САРП ПУ_c обозначается как COG (Course over ground), а ИК – HDG (Heading).

Тогда формула (3) преобразуется к виду:

$$b = L \sin(\text{COG} - \text{HDG}) + B \cos(\text{COG} - \text{HDG}). \quad (8)$$

Необходимо отметить, что при плавании по фарватеру при благоприятных погодных условиях, то есть отсутствии влияния ветра и течения, значение, приведенное в скобках формулы, будет равно нулю. В связи с этим получим, что ширина полосы безопасного движения равна ширине судна, что является справедливым выражением, так как судно не имеет никакого отклонения от основного направления движения и проекция его ширины на ось, перпендикулярную фарватеру, не будет искажена, т.е.

$$b = B \text{ при } c = 0.$$

Это условие значительно облегчает оценку вероятности столкновения судов и оценку вероятности безаварийного плавания в целом.

Таким образом, предложенная рекомендация по упрощению расчета ширины безопасной полосы движения способствует сокращению времени определения вероятности столкновения судов и позволяет быстрее оценить степень безопасности плавания по фарватеру. Ее удобство аргументировано исключением выкладок и операции интерполирования в отношении таблиц с множеством входных параметров для нахождения углов дрейфа и сноса течением.

Заключение

Проблема существующей методологии оценки вероятности столкновений судов заключается в многообразии методов, методик и математических моделей, отсутствии определенной классификации моделей и сложности учета множества факторов. Для построения систем поддержки принятия решений судоводителями при расхождении судов необходимо систематизировать модели, классифицировать их по различным признакам и проанализировать каждую из моделей на предмет их ограничений и применимости в потенциальных СППР.

На основе проведенного в работе анализа методики оценки навигационной безопасности плавания судна при плавании по фарватеру и лежащей в ее основе математической модели можно сделать вывод об их применимости в СППР в несколько модернизированном виде. Обоснованный в процессе исследования вариант модернизации заключается в значительном упрощении расчета ширины безопасной полосы движения судна посредством использования информации, предоставляемой судовым навигационным оборудованием. Таким образом, появляется возможность автоматизировать реализацию методики (а, следовательно, и возможность построения СППР на ее основе) в реальных условиях плавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Y. Hu, A. Zhang, W. Tian, J. Zhang, and Z. Hou. Multi-ship collision avoidance decision-making based on collision risk index // Journal of Marine Science and Engineering. – 2020. № 9. – P.1-25.
2. Иванов, Б.Е. Оценка степени безопасности плавания по фарватеру / Б.Е. Иванов, А.М. Черненко // Морской вестник. – 2006. № 2. – С.72-73.

ANALYSIS OF THE METHOD FOR ASSESSING THE NAVIGATION SAFETY OF THE VESSEL WHILE NAVIGATION IN THE FAIRWAY

¹Ermakov Sergey Vladimirovich, PhD, associate professor of navigation department

²Malinin Nikita Zhanovich, PhD, lecturer of navigation department

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹sv.ermakov@bgarf.ru; ²for_informatics@mail.ru

The paper analyzes the method and the underlying mathematical model for assessing the navigation safety when a vessel navigates the fairway. A recommendation for improving this method has been substantiated. This recommendation is to simplify the calculation of the vessel's safe lane width by using information from the ship's navigation equipment.

УДК 656.61.052

АНАЛИЗ ПРОЦЕДУРЫ ПЕРЕДАЧИ ДЕЛ ШТУРМАНСКИМ СОСТАВОМ ПРИ СМЕНЕ ЭКИПАЖЕЙ

¹Ермаков Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры судовождения

²Морозова Светлана Юрьевна, ст. преподаватель кафедры судовождения

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹sv.ermakov@bgarf.ru; ²nach_uo@bgarf.ru

Проанализированы проблемы, возникающие во время передачи дел судоводителями при смене экипажей. С этой целью были рассмотрены несколько случаев ненадлежащей передачи, повлекшие в дальнейшем потери различного рода (здоровья, финансовые, временные и пр.). Итогом работы являются перечень источников проблем, необходимый для дальнейших исследований, и рекомендации по предотвращению ненадлежащей передачи дел.

Введение

Понятие «безопасность мореплавания» имеет множество определений, представленных в научных и учебных публикациях, и рассматривается, как правило, либо как свойство, либо как состояние или его характеристика. Однако вне зависимости от содержания конкретного определения уровень безопасности определяется комплексом факторов, количество которых, по сути, стремится к бесконечности. Поэтому учесть все факторы в процессе обеспечения безопасности мореплавания не представляется возможным. В свою очередь, оценить и учесть наиболее значимые факторы позволяет грамотное, имеющее научное обоснование управление безопасностью, принципы которого установлены и закреплены в морской отрасли как на международном уровне (конвенции, кодексы и резолюции ИМО), так и на национальном. Управление безопасностью (безопасной эксплуатацией судов) затрагивает практически все процессы и процедуры, имеющие отношение к морскому судоходству. Однако не все процессы и процедуры имеют жесткую регламентацию в том числе и потому, что последствия появления несоответствий здесь либо не оценены, либо считаются не критичными. Одной из таких процедур является приём-передача дел судоводителями при смене экипажа судна, имеющая недостаточное правовое и организационное обеспечение и требующая обоснования

практических рекомендаций, направленных на её оптимизацию. Кроме того, процедура приёма передачи – это объект управления не только безопасностью, но и социально-трудовыми отношениями в экипажах.

На международном уровне процедура приема-передачи дел не имеет своего чёткого и строго нормативно-правового регулирования. В Российской Федерации ее особенности, связанные обязанности членов экипажа регламентируются различными нормативно-правовыми актами (НПА) как ведомственными, так и межведомственными (например, вступившим в силу в этом году Уставом службы на судах рыбопромыслового флота [1]), причём, как правило, положения НПА, касающиеся приема-передачи дел, рассматриваются в контексте обязанностей членов экипажей, имеют рамочный характер и могут иметь к этой процедуре как непосредственное, так и косвенное отношение.

Вместе с тем, существует немало примеров того, как ненадлежащая передача дел, имевшая место при смене экипажа, приводила к тем или иным проблемам (некоторые из этих примеров будут рассмотрены ниже). Следовательно, обобщение имеющегося опыта при передаче дел, обоснование на результатах этого обобщения практических рекомендаций – задачи актуальные и требующие решения.

Таким образом, цель настоящей работы была сформулирована следующим образом: по результатам анализа существующих процедур передачи дел штурманским составом при смене экипажа и случаев возникновения проблем вследствие ненадлежащей передачи обосновать рекомендации по организации и нормированию соответствующей деятельности при прибытии и убытии с судна штурманского состава.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

- создать эмпирическую базу по случаям возникновения проблем, связанных с ненадлежащей передачей дел;
- провести апостериорный анализ проблем, возникающих вследствие ненадлежащей передачи дел;
- обосновать рекомендации.

Примеры проблем, связанных с ненадлежащей передачей дел

Эмпирическая база настоящего исследования может иметь и имеет исключительно прецедентный характер, а ее источником – опыт действующих судоводителей.

Подобным опытом делится один из старших помощников капитана: «Передача дел – это мероприятие, которым суждено заниматься всем морякам вне зависимости от должности. Нормальный моряк старается выполнять свою работу качественно и вовремя, чтобы не оставлять своему сменщику каких-либо недоработок, а по прибытию последнего на судно объяснить все нюансы предстоящей работы.

Лицо командного состава современного судна (офицер) имеет в своем распоряжении большое количество подлежащей заполнению документации. Он должен лично осуществлять проверки целостности и работоспособности составляющих своего заведования, а у каждого судовладельца для подобных проверок существуют специальные формы отчетных документов. При этом желательно, чтобы вновь прибывшему на судно специалисту как устно, так и письменно (посредством составления hand-over report) была представлена полная информация о месте хранения, порядке заполнения и адресате представления этих документов.

Работа моего последнего предшественника – яркий пример того, как делать не надо: в судовом журнале не записаны проверки, учения по тревогам; корректура каталога и карт не велась, судно полгода осуществляло навигацию по аннулированным картам; навигационные книги не корректировались вообще, нет ни единой вклейки, вставки, вписки; навигационная прокладка, по сути, таковой не является – точки на навигационной карте, точки на электронной карте, точки в GPS, точки в вояж-плане не соответствуют друг другу и все по разному пронумерованы; прогнозы погоды не принимались во внимание и не подшивались; папка по навигационным предупреждениям не велась; проверки радиооборудования не проводились; половина радиооборудования была выключена; пожарные гидранты находились в нерабочем состоянии; в спасательной шлюпке половина имущества отсутствовало...

Опытный специалист всегда интересуется проблемами по своему заведованию: что не в порядке, что нужно заказать и что заменить в ближайшее время. Во все остальное при условии надлежащего выполнении своих обязанностей предшественником можно вникнуть уже в процессе работы. Бывает также, что у старшего помощника, старшего механика и капитана сменщики находятся на борту до двух недель – новые вникают во все дела, документацию и прочее, а сменяющиеся передают им все нюансы и тонкости работы».

В качестве еще одного примера, который наглядно демонстрирует возможные последствия ненадлежащей передачи дел вторым помощником капитана, можно привести случай, происшедший несколько лет назад у берегов Великобритании. После успешной проводки судна лоцманом на выход из порта, он должен был быть высажен на лоцманский катер. Высота борта была такова, что сделать это без лоцманского трапа не представлялось возможным. Ко всему лоцман осуществлял проводку не один, а в сопровождении кадета. Требования, которые обычно предъявляются к лоцманам в любой стране мира, дают представление о том, что настоящий кадет был капитаном с достаточно большой практикой, а к тому же и имел большую массу тела.

После подачи лоцманского трапа первым на него ступил лоцман и без каких-либо проблем спустился на палубу катера. Однако через некоторое время после того, как движение вниз начал кадет, трап оборвался, и будущий специалист по проводке судов упал на палубу и получил повреждения средней тяжести.

В результате расследования было установлено, что из-за ненадлежащего обслуживания трап, обветшав, пришел в негодность, и его разрывная прочность уже не соответствовала массе человека, который по нему пытался спуститься.

Лоцманский трап является заведованием второго помощника капитана, но при приеме дел у своего коллеги, он не произвел детального осмотра этого элемента. Причины для этого было две. Во-первых, на судне было два постоянных экипажа, и моряки сменяли друг друга по кругу, глаз замыливался. Прием дел осуществлялся быстро и под честное слово, без фактической проверки имущества. На первый взгляд, это было оправдано – через время короткого контракта имущество «возвращалось» его предыдущему «владельцу».

Во-вторых, в силу некоторых причин, второй помощник капитана в предыдущем рейсе провел все-таки проверку и надлежащее обслуживание лоцманского трапа, и был в нем абсолютно уверен. Однако в процессе расследования выяснилось, что проверенный трап, который хранился на баке, был в какой-то (не выясненный при расследовании) момент заменен на аналогичный, но не отвечающий установленным требованиям. Последствия этой ситуации были уже описаны выше.

Повреждения, полученные кадетом лоцмана, не были столь критичны, и здоровье поправилось достаточно быстро. Во всяком случае, намного быстрее, чем второй помощник капитана закончил «отписываться» от различных инстанций. Несмотря на все обстоятельства, предъявленные фотодоказательства того, что в предыдущем рейсе был другой трап, а по документам замена не производилось, вина полностью легла на второго помощника.

Другой наглядный пример связан с утерей имущества. Старший помощник капитана, работающий на судах одной рижской компании, после окончания контракта уже как месяц находился в отпуске, когда ему позвонил менеджер. По его информации при последней передаче дел старший помощник не передал своему коллеге одну рацию, о чем последний доложил капитану, а тот в офис компании. Вместе с тем, штатная процедура передачи в свое время была проведена полностью, претензий со стороны принимающего не лично, не в присутствии капитана высказано не было. Однако какого-либо документального подтверждения надлежащей передачи (например, акта приема-передачи, подписанного капитаном) на руках у сдавшего не оказалось. В итоге компания без подробного расследования и формально заняла позицию тех, кто находился на борту судна, и привлекла к финансовой ответственности сдававшего дела.

В процессе исследования при помощи специально подготовленного опросного лица был проведен опрос действующих судоводителей. В первую очередь было интересно то время, которое затрачивалась при передаче (приеме) дел коллеге, описание самого заведования и процедуры, проблемы, которые возникали при самой передаче и после нее, а также мнение судоводителей по оптимизации процедуры передачи дел на судах. Если судоводитель за последнее время (последние 3-4 контракта) не менял компанию, судно, должность, то приём-передача дел происходили всегда

одинаково, и опросный лист было достаточно заполнить один раз. В случае, когда процедуры отличались, была просьба описать каждую процедуру в отдельности.

Чаще всего опрашиваемые свидетельствовали, что процедура приёма-передачи дел укладывается у них в промежуток от 2 до 4 часов, однако подавляющее большинство участников опроса, для которых на эту процедуру уходило не более 4 часов, указывали, что этого времени недостаточно.

Также в результате собеседования с моряками выяснилась такая закономерность, что если экипаж меняется не полностью, а только его часть или один член экипажа, то, как правило, на смену дается более суток. Вероятнее всего это связано с тем, что на судне есть Pilot Room со свободным местом для отдыха.

Апостериорный анализ проблем, возникающих вследствие ненадлежащей передачи дел

Основная часть сложностей при приёме-передаче дел возникает из-за несоблюдения требований, установленных нормативно-правовыми актами (в том числе и локальными). Большую часть негативных последствий можно было бы избежать, если бы все необходимые документы заполнялись в срок и с соблюдением соответствующих требований.

Судовая бюрократия в настоящее время воспринимается на судах, как правило, негативно, однако её положительная роль заключается в рационализации и унификации правовых основ мореплавания. Благодаря упорядочиванию документооборота многие сложные процессы на судне подверглись формализации и упростили работу судоводителя.

По прибытии на судно документы позволяют новому члену экипажа контролировать перемены и предсказывать дальнейшее развитие каких-либо ситуаций. Однако большой объём документации приводит к исчезновению гибкости и затруднению коммуникации.

Большое значение имеет внешняя организация смены экипажа. Во-первых, если как минимум офицерский (или более узко – штурманский) состав может меняться либо все вдруг, либо по должностям. При этом нередко случается так, что транспорт, доставивший к борту судна вновь прибывших (или прибывшего), забирает и убывающих моряков, т.е. вся процедура передачи дел должна уложиться в очень короткий промежуток времени, чтобы избежать простоя транспорта и лишних расходов со стороны судовладельца.

Аналогичные ситуации складываются и с перелётами, когда билет, трансферы организуются судовладельцем таким образом, что одновременное нахождение на борту сменяющего и сменяющегося занимает порой даже минуты, которые необходимы для рукопожатия.

Основным источником проблем следует считать в большинстве случаев человеческий фактор. В это понятие входит очень много аспектов: невнимательность, усталость после перелета, излишняя самоуверенность и халатное отношение к обязанностям.

Вместе с тем, человеческий фактор как источник рассматриваемой проблемы имеет характер, несколько отличный от того, который принято рассматривать в исследованиях, связанных с мореплаванием. Как правило, в подобных исследованиях акцент ставится на действия человека в экстремальных ситуациях (маневр последнего момента, сложные ситуации погрузки-выгрузки и прочее). Процедура передачи дел, на первый взгляд, не подходит под понятие «экстремальная ситуация». Однако она близка к таковой, только с несколько иным проявлением – например, динамика развития не такая, как при том же расхождении судов.

В целях настоящего исследования следует различать личностный и человеческий фактор. Первый имеет отношение к осознанным действиям, источником которых является исключительно воля исполнителя. В случае приема дел это выливается в пренебрежение фактическими мероприятиями по проверке принимаемого заведования со всеми возможными вытекающими последствиями.

В свою очередь человеческий фактор (уже как таковой) следует рассматривать также в нескольких аспектах.

Во-первых, следует признать, что, несмотря на наличие действующего рабочего диплома, являющегося подтверждением наличия компетентности, требуемого от вахтенного помощника Кодексом ПДНВ, прибывающие на борт судоводители не всегда имеют необходимый для надлежа-

щего приема дел объём знаний, умений и навыков. В итоге таким специалистам бывает трудно проверить как фактическое наличие получаемого в заведование имущество, так и его целостность и работоспособность, а все возможные проблемы и недостатки проявляются и выявляются только после подписания акта, убытия предшественника и начала фактического исполнения обязанностей по должности.

Во-вторых, из-за продолжительного многочасового перелета и последующего за этим утомления принимающий дела не может должным образом концентрировать внимание, воспринимать и оценивать информацию и делать адекватные выводы. Кроме того, прибавляются переживания о семье и смене образа жизни на достаточное долгое время. При этом на психологическую перестройку дается слишком мало времени. В подобной критической ситуации в процессе передачи дел при смене экипажа полностью избежать ошибок практически невозможно.

В-третьих, личные отношения, складывающиеся на судах, где экипажи работают и меняют друг друга годами, приводят к передоверию – принимающий верит сдающему на слово и подписывает все документы. В связи с этим многие компании не только не допускают семейственность в экипаже, но производят также периодическую ротацию с целью предупредить передоверие.

Возможна и обратная ситуация, также имеющая отношение к этой, коммуникативной, составляющей процедуры передачи дел. Языковой барьер, различные подходы к процедуре, как и различное видение своих обязанностей, приводит к неверной трактовке информации и ошибкам при принятии в заведование имущества.

Отсутствие строго регламентированной процедуры, т.е. недостаточное нормативно-правое регулирование, приводит к различной интерпретации процесса передачи в разных компаниях, на различных судах и даже у разных людей.

Большое значение имеет роль капитана процедуре приема-передачи дел. Индифферентное отношение к результатам приема дел (т. е. отсутствие контроля), естественно, недопустимо, т.е. может привести в дальнейшем к возникновению проблем и конфликтных ситуаций различного рода. В свою очередь, проконтролировать капитана уже не может никто.

В итоге можно выделить следующие источники проблемы передачи дел при смене экипажа:

- коммерческое давление;
- личностный фактор (халатность);
- человеческий фактор (знаниевая составляющая – низкая компетентность);
- человеческий фактор (психофизиологическая составляющая);
- человеческий фактор (коммуникативная составляющая – передоверие или недопонимание);
- отсутствие регламентированной процедуры (слабое нормативно-правовое регулирование);
- отсутствие или слабая реализация контрольно-надзорных мероприятий.

Следует заметить, что ошибки, совершенные при приеме-передаче дел могут являться латентным источником морских аварий и инцидентов. Так, некоторые особенности АИС, при использовании этой системы в целях оценки опасности столкновения и не переданные при смене, могут стать причиной ошибки при расхождении и привести к аварии. Однако существующая и применяемая процедура расследования морских аварий и инцидентов практически не позволяет расследующему лицу «спуститься» на тот уровень причин (инициирующих событий), на котором находится прием-передача дел. Вместе с тем, уроки, которые могли бы быть извлечены из подобных происшествий (а цель расследования в соответствии с резолюцией ИМО MSC.255(84), которая содержит Кодекс расследования аварий, именно такова), помогли бы предупредить повторение подобного в будущем и обратить внимание морского мирового сообщества в лице ИМО на исследуемую проблему.

Рекомендации

Большая часть рекомендаций не является универсальной, ведь каждый из офицеров имеет свои обязанности. Однако есть элементы, которые касаются всех представителей штурманской службы.

Помимо расположения спасательных средств и правил их использования необходимо знать наличие и сроки годности разных видов пиротехники на борту. Важно знать в каком состоянии флаги МСС; проверить наличие и знать место расположения флагов страны регистрации судна, страны отхода и захода.

Желательно иметь на личном носителе документы, относящиеся к переходу, особенно – судовую роль. Необходимо проверить, подготовлены ли карты и книги на переход, откорректированы ли они.

При подписании документов о материальной ответственности следует обязательно проверить каждый объект – наличие, состояние.

Если на хранение передаются документы, то у каждого члена экипажа должен быть отдельный конверт с описью содержимого и подписью.

Важно проверить каждый пункт из акта приема-передачи дел и/или чек-листа, даже если это не первый рейс на данном судне. Один из приведенных выше примеров красноречиво показал, что абсолютное знание своего заведования, приобретенное с предыдущих контрактов, нельзя считать поводом для пренебрежения строгой проверкой.

Перед заполнением чек-листа нужно очень внимательно ознакомиться со всем оборудованием на мостике и выяснить особенности каждого прибора, включая освещение, огни и сигнализацию. Любые сомнения должны разрешаться до убытия сдающего дела, причем даже в тех случаях, когда сдающий сам принимал (и принял) должность с теми же сомнениями и в процессе своего контракта так их и не разрешил.

Немаловажное значение при передаче дел имеют инициативные неофициальные hand-over, в котором сдающий дела штурман перечисляет все особенности выполнения профессиональных обязанностей на этом судне. Подобные документы могут содержать информацию различного рода: предупреждения о возможных сбоях оборудования, нюансы его настройки, перечень мероприятий, начатых и неоконченных сменяющимся, и пр. При составлении таких документов следует излагать все четко и лаконично, используя общепринятую терминологию и избегая возможных разночтений и ненормативной лексики.

В целях совершенствования нормативно-правового регулирования передачи дел экипажа предлагается включить в соответствующие правовые акты положения, касающиеся нормирования времени на передачу дел. Очевидно, что подобное нормирование должно быть дифференцированным, зависящим от объема заведования по судну, специфики работы и ряда других факторов. Однако эта проблема может быть решена очень просто – той же прописанной дифференциацией времени передачи от указанных факторов. Это время должно иметь нижнюю и верхнюю границу. Нижняя будет являться требованием, которое предъявляется судовладельцу, т. е. он должен обеспечить одновременное нахождение на борту двух членов экипажа сроком не меньшим указанного (с соответствующей оплатой труда обоих). Верхняя граница предназначена для сдающего и принимающего дела, чтобы не затягивать процесс до бесконечности. В случае возникновения конфликтной ситуации спорные ситуации должны фиксироваться протоколом расхождения, следствием которого должно стать судовое расследование капитаном судна причин этого расхождения и уже как его результат – обоснованное решение с возложением вины.

Более того, развив и кодифицировав это и другие положения, можно сформировать предметный правовой акт (например, резолюцию ИМО), который будет устанавливать императивные правила, включающие обязанности сдающего и принимающего и регламентацию процедуры передачи вне зависимости от типа судна. Подобная унификация позволит избежать недоразумений и конфликтных ситуаций, которые часто встречаются на борту судна. Однако правотворчество на уровне Международной морской организации – довольно сложный, инертный и протяженный по времени процесс, охватывающий только те объекты регулирования, которые мировое морское сообщество считает наиболее приоритетными. Поэтому очевидно, что в эпоху ожидания на мировом флоте морских автономных надводных судов, занимаясь проблемами гендерного равенства, защиты окружающей среды и многими другими проблемами, лежащими на поверхности, ИМО, её комитеты и подкомитеты вряд ли обратят внимание на процедуру приема-передачи дел, тем более что ее недостатки имеют последствия, имеющие непосредственно для безопасности мореплавания латентный характер с недоказанной однозначно причинно-следственной связью.

Следует заметить, что представленные рекомендации носят как реактивный, так и проактивный характер. «Реактивные» рекомендации являются в контексте управления рисками корректирующими действиями, содержание которых формируется на основе анализа последствий происшествий, случившихся вследствие ненадлежащего исполнения процедуры приёма-передачи дел (т.е. являются реакцией на происшествие). «Проактивные» рекомендации основаны на выявлении малейших несоответствий и направлены на минимизацию их количества.

Еще один аспект рассматриваемой проблемы – культура приема-передачи дел, являющаяся неотъемлемой частью профессиональной культуры, а вместе с ней и профессиональной компетентности. Формально, культура приема-передачи дел – это набор писанных и неписанных правил, которые определяют поведение человека, имеющее отношение к рассматриваемой процедуре, с присущим ему уважением к коллеге и профессии. Привить будущему судоводителю профессиональную культуру – задача морских учебных заведений, которая в настоящее время если и решается, то исключительно фоном.

Профессиональный авторитет судоводителя, а вместе с ним и перспектива карьерного роста, зависят среди прочего и от того, в каком виде он оставляет свое заведование принимающему дела. При этом если судоводитель поменяет компанию, отрицательный или положительный «шлейф» придёт за ним в любом случае (даже в случае, когда его положительные и отрицательные качества и особенности профессионального поведения не будут отражены в характеристиках и рекомендациях).

Заключение

Проблема, рассмотренная в настоящей работе (т.е. проблема приема-передачи дел при смене экипажа) долгое время находилась на периферии научных исследований и возможно потому, что имела излишне прикладной характер и не оцененное значение.

Вместе с тем, в процессе исследования было выявлено много случаев, которые, будучи следствием ненадлежащей передачи дел, приводили к проблемам различного характера, в числе и к тем, которые связаны со здоровьем человека. Кроме того, в работе выдвинута гипотеза о том, что ненадлежащая передача дел является латентным источником морских аварий и инцидентов. Эта гипотеза подлежит дальнейшей проверке и определяет направление последующих исследований.

Таким образом, в настоящей работе рассмотрена и проанализирована фактическая процедура передачи дел при смене экипажа. Результатом исследования является обоснованный и сформированный перечень источников проблем, необходимый для дальнейших исследований, и рекомендации по предотвращению ненадлежащей передачи дел.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устав службы на судах рыбопромыслового флота Российской Федерации (утв. приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 27.07.2020 № 421) // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202010300007?index=0&rangeSize=1> (дата обращения 01.09.2021).

ANALYSIS OF THE HAND-OVER PROCEDURE CARRIED OUT BY NAVIGATORS

¹Ermakov Sergey Vladimirovich, PhD, associate professor of navigation department

²Morozova Svetlana Yurievna, senior lecturer of navigation department

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹sv.ermakov@bgarf.ru; ²nach_uo@bgarf.ru

The paper analyzes the problems that arise during the hand-over procedure carried out by navigators, when changing crews. For this purpose, several cases of improper hand-over were considered, which subsequently entailed losses of various kinds (health, financial, temporary, etc.). The outcome of the work is a list of sources of problems required for further research, and recommendations to prevent improper hand-over.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ В УПРАВЛЕНИИ МОРСКИМ ПОРТОМ

¹Лобкова Катрин Эдуардовна, ст. преподаватель кафедры организации перевозок БГАРФ, аспирант ФГБОУ ВО КГТУ

²Мойсеенко Сергей Сергеевич, д-р педагогических наук, канд. технических наук, профессор, профессор кафедры организации перевозок БГАРФ

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹lobkova.ke@bgarf.ru; ²moyseenko.ss@bgarf.ru

Целью данной работы является исследование методов оценки рисков, применимых в управлении морским портом. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: проанализирован материал из различных источников по тематике исследования; рассмотрены основные методы, которые могут быть использованы для оценки рисков в морских перевозках; подробно изучен метод вероятностной оценки, используемый при расчете рисков. В заключении работы отмечается, что вероятностные методы наиболее полно распространены во всех сферах деятельности.

В условиях нынешней экономики предприятия, в частности морские порты, регулярно сталкиваются с усилением контроля безопасности грузоперевозок и предотвращению загрязнения внешней среды. Достаточно действенным механизмом воздействия на усиление безопасности на море являются методы оценки рисков и процедуры управления рисками.

Такому понятию как риск требуется уделять огромное внимание, поскольку изменения, происходящие по некоторым незапланированным обстоятельствам, оказывают негативную динамику на деятельность организации. Применительно к деятельности морских портов, можно с уверенностью сказать, что все инвестиции, вкладываемые в сферу управления морскими перевозками, всегда будут носить рискованный характер. Одним из важных обстоятельств экономического обоснования затрат в инвестиционную стратегию развития и деятельности морского порта, является оценка воздействия риска на рентабельность проекта [1, стр. 1]. В процессе управления портовыми мощностями руководство анализировать различные виды возможных рисков и их влияние на конечный результат деятельности порта, особенно показатели экономической рентабельности и конкурентные позиции.

Риск, по сути, представляет собой ничто иное как вероятность несения потерь предприятием в случае реализации/не реализации его решений. Эффективность управления рисками в морских перевозках напрямую зависит от результатов и качества выполнения исследования аварийности и оценки возможного риска развития ЧС. Как правило осуществление таких исследований проводится в целях (рисунок 1):

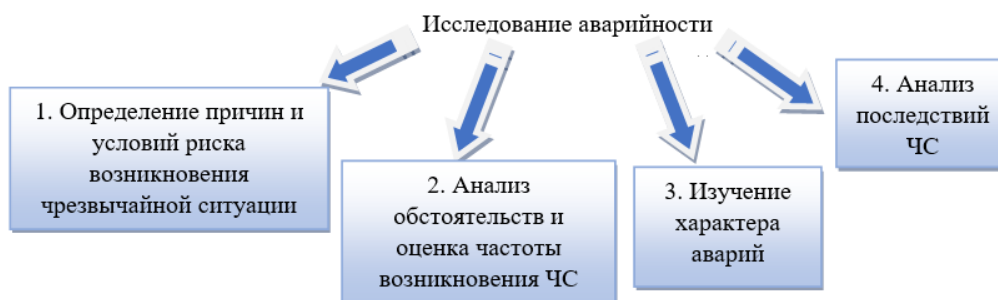


Рис. 1. Параметры исследования аварийности и оценка риска развития ЧС

Высокая степень актуальности данной тематики связана с большой потребностью в нахождении методов, с помощью которых можно проводить наиболее эффективный анализ рисков. Теоретическая концепция методов оценки рисков, применительно к управлению морскими портами, постоянно требует совершенствования, что касается как морского судоходства, так и портовых вод [2, с. 3]. Вопрос безопасности портовой акватории, в связи с увеличением размеров судов, а также стоимости перевозки грузов, является важным и значимым элементом в управлении морскими перевозками. Соответственно, вывод – всестороннее исследование вопросов, касающихся методов оценивания рисков, является весьма актуальным в настоящее время.

В целом, всё многообразие методов исчисления рисков можно дифференцировать на экспертные и статистические, из названия которых следует их специфика [3, стр. 2].

Суть экспертных методов - величина вероятности и ущерба определяются исходя из мнения квалифицированных и опытных консультантов. Примерами таких методов служат следующие (рисунк 2):



Рис. 2. Примеры экспертных методов оценки рисков

В случаях применения опросных методов, в частности открытых, когда личности экспертов известны, можно усложнить процедуру, символически присвоив каждому из членов своеобразный «вес». В таком случае конечные показатели будут оцениваться с учётом этих «весов», что, в свою очередь, поможет получить наиболее точный вывод.

Конечно же абсолютно точных результатов, используя экспертные методы, не получить. Это складывается в виду того, что фундаментальной их проблемой является квалификация, специализация и профессионализм привлечённых экспертов. Исходя из этого, особенно если большинство экспертов приглашены со стороны исследуемой области, результаты часто могут приобретать экстраординарные значения, а величина ущерба будет колоссально отличаться от суждений свободного независимого эксперта. В тоже время, внутренние эксперты, в отличие от привлечённых сторонних специалистов, могут бессознательно, а возможно и специально, преобразовать и коверкать действительную обстановку, в то время как внешние эксперты, вполне вероятно, могут не столь хорошо разбираться в анализируемом направлении деятельности.

Однако, не смотря на все нюансы, это не говорит о том, что такие способы расчёта рисков, как привлечение экспертного мнения, следует отвергать. Прежде всего, посредством таких способов оценки становится возможным оценить вероятность и ущерб совершенно для любого риска. Так же следует признать, что, подбирая как следует компетентный экспертный состав, имеется возможность в любом случае получить какой-то итоговый результат. Соответственно, для достижения поставленной цели, необходимо гарантировать экспертную независимость, одновременно с достаточной квалификацией и профессионализмом.

Гораздо большего результата можно добиться используя, в случае необходимости или в совокупности, методы, основанные на сборе и анализе статистических данных, то есть статистические методы оценки рисков.

Статистические исследования чаще всего применяют, когда необходимо проанализировать большой объём сведений и материалов. Исходя из этого статистика особенно эффективна в таких сферах деятельности как экономика и юриспруденция. Между тем, они успешно применяются и в логистике, в частности в морских перевозках, для оценки таких рисков, как, например, последствия аварий при производстве погрузо-разгрузочных работ, срывы сроков доставки грузов, различных стратегических рисков.

В отличие от экспертных, коренной проблемой данных методов является, как правило, отсутствие необходимых статистических данных в нужном виде и объёме. А на сбор информации потребуется дополнительно время и трудозатраты. Для того, чтобы в конечном итоге не получить апокрифические выводы, основанные на малодостоверных данных, к сбору статистической информации необходимо подходить детально и основательно.

Подавляющая часть таких исследований базируется на уже созданных и разработанных математических моделях. К числу таких моделей можно отнести:

- метод средних величин;
- метод процентов;
- математический метод расчетов простых рисков;
- метод расчета логистических рисков;
- метод системы статистических данных об авариях;
- метод расчета частоты возникновения некоторого уровня потерь;
- метод расчета риска на опасных производственных объектах;
- метод критичности вида отказа.

Рассмотрим данные методы вкратце. Первая модель оценки рисков — **метод средних величин**. Данному методу присуще дифференцирование отдельных рискованных групп на малые категории. При помощи этого создается, так называемая, аналитическая информационная база для исчисления размера ущерба по рискованным доминантам (к примеру, кумулятивный производственный потенциал или вид технологического цикла машины/механизма и прочее).

Вторая анализируемая модель – это **метод процентов**. Рассматривается как объединение скидок и надбавок, выраженных в процентах и зависящих от вероятных положительных и отрицательных дериваций от среднего рискованного типа.

В третьем методе, **математическом расчете простых рисков**, базисом для нахождения вероятности производственных рисков (далее п.р.), являются простые риски. Определяется по следующей формуле [4, стр. 55]:

$$P_i = \sum_k \lambda_{kl} \cdot P_{kl}, \quad (1)$$

где k – простой риск;

P_i - вероятность i -й группы п.р., $i = 1 \dots 5$;

λ – коэффициент важности k -ого простого риска, входящего в i -ю группу п.р.

P_{kl} - вероятность k -го простого риска, состоящая в i -й группе п.р.;

Промежуток вероятности простого риска, которому присвоится наибольший балл принимается как доминирующий - преобладающий, а получивший меньшее число - малозначительный.

При определении рисков четвертым способом, то есть **расчет логистических рисков** в деятельности морского порта, непременно обговаривается степень корреляции обнаруженных и rozpoznанных рисков. Фактически степень взаимосвязи таких рисков, конечно же, отнюдь не предмет изучения, но такое соотношение может быть оценено долей целостных рискообразующих источников во всём множестве определённых логистических рисков в деятельности порта. Обобщённо говоря, оценка показателя такой корреляции составляется для $2x$ рисков ($i \neq j$) как единое целое. Формула для определения такого вида риска имеет вид:

$$KK_{ij} = \frac{(КИФ_i + КИФ_j)}{(КНФ_j + КИФ_i) + (КНФ_i + КИФ_j)}, \quad (2)$$

где, KK_{ij} - коэффициент взаимосвязанности рисков в процессе функционирования порта за определённый заданный период времени (для $i \neq j$);

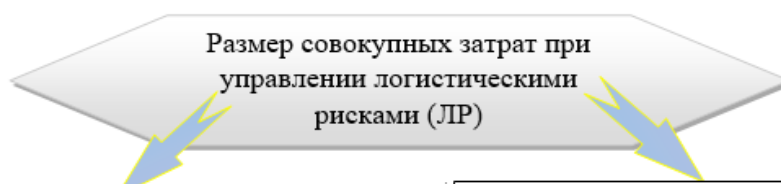
$KИФ_i$ и $KИФ_j$ – количественные показатели рискообразующих факторов, носящих интегральную направленность и влияющих соответственно на i -й и j -й риски в процессе деятельности порта за определённый заданный промежуток времени;

$КНФ_i$ и $КНФ_j$ – число рискообразующих факторов нативного характера, т.е. естественного происхождения, и соответственно влияющих на i -й и j -й риски в процессе функционирования порта за заданный период времени.

На ряду с этим, совокупную величину таких логистических рисков допускается рассчитывать как суммарное математическое значение стоимостей данных рисков, при условии, что степень корреляции достаточно значимая. Тем временем, необходимо учесть, что величину любого логистического риска целесообразно вычислять, опираясь на, так называемую, «классическая теория риска» - математическое ожидание предсказуемого ущерба. Помимо того, единое агрегированное значение интегральных логистических рисков, в том случае, когда степень взаимосвязи маловажна, определяется как корень квадратный суммы квадратов стоимостей всех определённых и оценённых рисков [5, стр. 6]. Саму же значимость ущерба, при выявлении такого рода рисков, следует понимать как увеличение ожидаемых затрат при осуществлении доставки по заданному направлению, в соответствии с номенклатурой грузов и в необходимом количестве, готовых к дальнейшему применению.

В сфере мультимодальных перевозок выделяют такое понятие, как «эффект управления логистическими рисками», что представляет собой уменьшение общей величины суммарных логистических рисков. Иными словами – это математическое ожидание вероятного увеличения ожидаемых издержек доставки грузов. Ввиду этого, необходим детальный анализ различных логистических рисков с целью определения его управляемости для последующего воздействия наиболее эффективных мер управления.

В процессе функционирования портов, при управлении логистическими рисками (далее ЛР), размер этих совокупных затрат, как правило, изучается в двух возможных вариантах (рисунок 3):



1. На уровне организации: размер совокупных затрат состоит из следующих элементов:

$$Z_{УРЛ} = Z_{АЛР} + Z_{ПВ} + Z_{ВЛР} + Z_{МК}, \quad (3)$$

где $Z_{АЛР}$ – затраты на анализ ЛР в деятельности порта за определённый период;
 $Z_{ПВ}$ – затраты на разработку программы мер воздействия на ЛР в деятельности порта за определённый период;
 $Z_{ВЛР}$ – затраты на осуществление разработанных мер воздействия на ЛР;
 $Z_{МК}$ – затраты на мониторинг и контроль эффективности управления этими ЛР в деятельности порта за определённый период.

2. На уровне владельца риска: размер совокупных затрат определяется по формуле:

$$Z_{УРЛ} = \sum_{i=1}^N Z_{УЛРi} = \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M Z_{УЛРim}, \quad (4)$$

где $Z_{АЛР}$ – затраты на анализ ЛР в деятельности порта за определённый период;
 $Z_{ПВ}$ – затраты на разработку программы мер воздействия на ЛР в деятельности порта за определённый период;
 $Z_{ВЛР}$ – затраты на осуществление разработанных мер воздействия на ЛР;
 $Z_{МК}$ – затраты на мониторинг и контроль эффективности управления этими ЛР в деятельности порта за определённый период.

Рис. 3. Варианты определения совокупных затрат логистических рисков

Метод системы статистических данных подразумевает, в частности в мультимодальных перевозках, последовательное решение двухэтапной задачи (рисунок 4):



Рис. 4. Задачи метода оценки рисков по статистическим данным об авариях

Анализируя возможность появления аварийных ситуаций, нарушений правил безопасности и прочих опасностей в грузоперевозках на любом виде транспорта, в обязательном порядке необходимо учитывать некоторые взаимосвязанные показатели, такие как ущерб материального или социального характера, а также вероятностные показатели возможной реализации данной ситуации. К примеру, существует вероятность возникновения аварии по причине воздействия определённых факторов риска.

Использовать такой метод оценки рисков в сфере морских перевозок грузов позволяет представление потока возможных опасных событий как теории случайных процессов. Примерами таких опасных явлений в морской практике грузоперевозок, можно привести такие аварийные происшествия, как аварии при производстве погрузо-разгрузочных работ, порча, повреждение или потеря груза, гибель и столкновения судов. Здесь же следует отметить, что общий поток опасных событий, в целом, суммируется из отдельных индивидуальных потоков, сформированных на основе определённых причинных факторов. А следовательно, становится приемлемым применение основополагающего принципа теории потоков – сумма независимых потоков является пуассоновским потоком.

В методе **расчета частоты возникновения некоторого уровня потерь**, как следует из названия, основным математическим параметром, который подлежит расчету, является частота возникновения уровня потерь, называемая степенью риска. Рассчитывается по формуле [9, с. 228]:

$$R = n/N, \quad (5)$$

где n – количественный показатель свершившихся происшествий с неблагоприятными последствиями;

N – максимально возможное число эпизодов, которое может быть охвачено отрицательными последствия за определённый промежуток времени.

Риску попасть в аварийную ситуацию подвергается весь транспорт. Данный метод позволяет определить величину общего риска, например, численное значение общего риска аварий на автомобильном или железнодорожном транспорте, гибели судов в море.

В предпоследнем методе, с помощью которого осуществляется **расчет риска на опасных производственных объектах**, судно, осуществляющее морские перевозки и взаимодействующее с различными видами транспорта, рассматривается как потенциально опасный объект. Соответственно к нему возможно применить риски, которые характерны для оценки рисков на опасных производственных объектах.

Здесь величина полного риска при функционировании предприятия задаётся как математическое ожидание причиняемых ущербов. Общая формула имеет следующий вид:

$$R = M[Y] = \sum_{i=1}^n P(B_t) y_t, \quad (6)$$

где $P(B_i)$ - вероятность причинения ущерба опасным объектам;

Y – математическое ожидание причиняемых ущербов.

Величина полного риска формируется, как правило, из двух компонентов (рисунок 5):



Рис. 5. Составляющие компоненты полного риска аварий

Как показывает анализ практических примеров риска аварий такого рода, оценка последствий в большинстве случаев основывается на, так называемых, методах анализа «деревьев событий».

В методе **критичности вида отказа** вычисляется совокупная интенсивность всех видов отказа λ и, на ее основе, находится сама критичность Cr . Для этого применяются следующие выражения:

$$\lambda_j = \lambda \cdot K_j, \quad (7)$$

$$Cr_j = \lambda_j \cdot Q_{ej} \cdot t, \quad (8)$$

где Q_{ej} - вероятность последования эффекта от возникновения отказа j - го вида;

K_j – коэффициент отказов;

t – определённый промежуток времени.

В общей сложности под «критичностью» следует понимать:

– *качество события*, дифференцированное во времени и способное привести к определённым последствиям;

– *критерий тяжести отказа объекта*, который входит в состав системы.

Если рассматривать критичность с точки зрения свойства объекта, то оно будет описывать не только сам объект, но и все его связи в системе [6, с. 84]. Таким образом, заблаговременно задаётся структура эффектов, которые могут последовать, к примеру, вынужденные остановки машин и механизмов судов, срабатывание защиты и обесточивание судна и прочее. Результаты расчётов, в свою очередь, систематизируются для определения наибольших значений.

К вероятностным методам следует относить такие, которые образуются на основе наличия материалов и сведений о количественных свойствах рисков, с которыми сталкиваются при создании и претворении проектов, а также на фактических экономических или даже политических ситуациях. При помощи данных методов оценки, можно проделать анализ и оценку отдельных дискретных рисков, чего не удастся, используя другие небезызвестные методы, которые представляют только общие сведения, к примеру, не рассматриваемые в данном исследовании - определение критических точек и анализ чувствительности, [7, с. 23].

Все риски определяются тремя факторами - событиями, имеющими непосредственную связь с риском, вероятностью рисков и суммой, которая может быть подвержена риску. Для того, чтобы оценить риски (количественно), требуется знание всевозможных последствий в случае принятия конкретного выбора и вероятности его последствия. Существует два варианта определения вероятности:

- *объективный*, основанный на расчете частоты возникновения событий. Частота проявления произвольного уровня потерь, в процессе реализации стратегии развития проекта, может быть определена по формуле:

$$f(A) = n(A)/n, \quad (9)$$

где f - частота возникновения некоторого уровня потерь;

$n(A)$ - число случаев наступления некоторого уровня потерь;

n - общее число случаев в статистической выдержке, состоящее из и успешно внедрённых, и из проектов, потерпевших экономическое фиаско.

- *субъективный*, основанный на личном опыте оценщика.

Особое место уделяется таким понятиям, как состояние среды, альтернатива и исход.

Состояние среды представляет собой некую ситуацию, на которую не может повлиять брокер. Альтернатива представляет собой последовательность действий, имеющих цель решить проблему. Исход образуется в ситуации, при которой альтернатива осуществляется при некотором состоянии среды [7, с. 25].

Следует учитывать, что генерирование вероятностной модели оценки риска и её анализ чрезвычайно кропотливый и трудоёмкий процесс. Связано это с тем, что все факторы риска достаточно индивидуальны и регулярно подвергаются изменениям. Ко всему прочему, окончательные результаты довольно трудно формализовать в понятийный аппарат. Методология вероятностной оценки рисков предоставляет возможность просчитывать различные варианты решений, даже те, которые выдвигаются только предположительно, после раскрытия и распознавания рисков. После чего определяется наиболее оптимальная и эвентуальная вариация. Тем не менее, стоит не забывать, что каждый вариант индивидуален и имеет свою цену [8].

В заключение работы хотелось бы отметить, что риск — это мера опасности, которая характеризует возможность возникновения аварии и тяжесть её последствий; это неотъемлемая часть предпринимательской активности, особенно в нынешней России. В тех ситуациях, когда нельзя быть полностью уверенным в том, что в ближайшем будущем не произойдет никаких инцидентов, требуется детально ознакомиться с методами, которые помогут в данной ситуации. Анализ риска направлен на выявление, так называемых, «слабых мест», с целью определения последующих мер обеспечения безопасности. Как видно, к настоящему времени разработано великое множество различных методов, которые могут использоваться как основа для анализа рисков в управлении морским портом и перевозками в целом. Приведенный в данной работе перечень охватывает основные, наиболее известные методы оценки. Вероятностные методы более полно распространены во всех сферах деятельности. Данные методы - одни из самых точных, с их помощью можно рассмотреть предпосылки неожиданных событий с использованием статистической информации путем анализа отклонений результатов от усредненных значений.

Так же нужно сказать, что, анализируя сферу деятельности морских портов и перевозок грузов на различных видах транспорта, каждый порт и каждая грузоперевозка носят индивидуальный характер и обладает своими собственными специфическими свойствами. Они создаются, функционируют и взаимодействуют между собой при определённых обстоятельствах и в конкретных условиях, наверняка физически присутим только им. Из этого можно заключить, что конкретизировать чёткий безошибочный регистр рисков, свойственных абсолютно любому порту или морской перевозке, невозможно. Это даёт основание полагать, что фигурирует общая систематика рисков, служащая основой для работы в конкретных обстоятельствах отдельных предприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Силенко В.М. Оценка рисков инвестирования в инфраструктуру морского порта. // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2012. - № 4
- 2 Матохин А.В. Системный подход к анализу рисков при маневрировании танкеров в портовых водах: автореферат диссертации канд. техн. наук. – Новороссийск, 2016. – 23с.
- 3 Страхова Н.А., Кармазин С.А. Характеристика наиболее используемых методов анализа рисков. // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. - № 3
- 4 Надёжность технических систем и техногенный риск/ В.А. Акимов, В.Л. Лапин, М.В. Попов и др. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.
- 5 Проценко О.Д., Цакаев А.Х. Методические аспекты оценки экономической эффективности управления логистическими рисками // Вопросы инновационной экономики. – 2011. – Том 1. – № 5. – С. 3-15.
- 6 Мойсеенко, С.С. Безопасность морских грузоперевозок: монография / С.С. Мойсеенко, Л.Е. Мейлер. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2011. – 398с.
- 7 Науменко, А.П. и др. Вероятностно-статистические методы принятия решений. Теория, примеры, задачи: уч. пос. / А.Н. Науменко, И.С. Кудрявцева, А.И. Одинец. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2018. – 85 с.
- 8 Использование управленческих данных для оценки рисков // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://projectimo.ru/upravlenie-riskami/metody-ocenki-riskov.html> (дата обращения 08.08.221).
- 9 Антонов, Г.Д. Управление рисками организации: уч. пос. / Г.Д. Антонов, В.М. Тумин, О.П. Иванова. - М.: Инфра-М, 2019. - 464 с.

RISK ASSESSMENT METHODS

¹Lobkova Katrin Eduardovna, senior lecturer department of Transportation Organization BFFSA, graduate student of KSTU

²Moiseenko Sergey Sergeevich, Dr. Sci. (Edu), Ph.D. (Eng), professor, professor department of Transportation Organization BFFSA

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹lobkova.ke@bgarf.ru; ²moyseenko.ss@bgarf.ru

The purpose of this work is to study the methods of risk assessment. To achieve this goal, the following tasks were solved: the available material on the subject of the study was studied; the main methods that can be used for risk assessment maritime transport were considered; the method of probabilistic assessment used in calculating risks was studied in detail. To achieve this goal, such research methods as analysis, synthesis, generalization and comparison were used. In conclusion, it is noted that probabilistic methods are most widely used in all spheres of activity.

КИБЕРБЕЗОПАСНОСТЬ МОРСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ: ОСОБЕННОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РИСКИ

¹Михайлов Дмитрий Михайлович, канд. техн. наук

²Абрамов Виктор Иванович, д-р экон. наук, доцент

¹BRICS Institute of Future Networks, Shenzhen, China

Шеньжень, Китай, e-mail: mikhaylovdm@bifnc.cn

²НУ Институт прикладных информационных технологий,

Москва, Россия, e-mail: viabramov@mephi.ru

С 2021 г. морские регистры по всему миру вводят регуляции по кибербезопасности для морского транспорта, что обусловлено рисками атак на критическую инфраструктуру судов. Инцидент с перекрытием Суэцкого канала, хоть и не является результатом кибератаки, показал, насколько мировая экономика зависит от устойчивости данной отрасли. Защита морских судов от кибератак – непростая техническая задача, которая будет решена только после формирования новых регуляций и их планомерного ужесточения.

В условиях четвертой промышленной революции, масштабного развития цифровых технологий формируется новый облик киберпространства. Киберпространство становится отраслью с глобальными возможностями для развития, но при этом становится сценой для киберпреступлений. В киберпространстве происходит конвергенция гражданских и военных информационных технологий. В развитых и развивающихся странах создаются центры, которые отвечают за разработку новых средства и методов активного кибервоздействия на инфраструктуру потенциальных стран-противников [1].

Сегодня киберпреступления приобрели глобальный масштаб и формируют облик глобальных угроз для развития мировой экономики. Новые технологии позволяют злоумышленникам оставаться анонимными, но при этом наносить удары из любой точки мира без существенных затрат [2]. Со временем актуальность кибербезопасности лишь возрастает, причиной этому служат такие факторы как рост подключаемых к сети устройств, все большее число IoT устройств, что увеличивает риск тяжелых последствий кибератак, повышение ценности данных и стоимость репутации в цифровом пространстве [3]. При переходе к цифровой экономике значительно возрастают экономические риски и на первое место выходят вопросы хеджирования рисков атак с целью снижения возможных последствий [4].

В 2017 году три эсминца США стали жертвами подобных атак, а Конгресс США впервые в мире распорядился о создании специальных киберструктур на море. Противостояние в киберпространстве теперь продолжится на море.

Согласно опубликованному расследованию The Hacker News недавно была раскрыта таргетированная атака от злоумышленников, возможно действующий в интересах Китая. Атака была нацелена на базирующегося в России оборонного подрядчика, занимавшегося проектированием атомных подводных лодок для военно-морского флота Вооруженных сил России. Вирус пытался проникнуть на IT-инфраструктуру предприятия через приложение к письму, в котором имелся вирус с возможностью взять на контроль всю инфраструктуру, используя современную угрозу «PortDoor».

В настоящее время вопрос кибербезопасности особенно остро касается морской отрасли, защиты морских судов и плавучих платформ по добыче нефти от участвовавших случаев атак на информационные системы, результаты которых приводят к порче корабельных систем, срывам поставки грузов и даже к человеческим жертвам.

Уязвимостям для хакерских атак подвержены не только различные корабельные системы (Спутниковые системы связи на море, IBS (Система централизованного управления судном), AIS

(Автоматическая Идентификационная система судов)), но и системы объектов морской инфраструктуры.

В условиях экономических санкций меняется система формирования инновационной активности, технологии особенно в части кибербезопасности становятся менее доступными в случае если являются критическими [5].

Международная морская организация (ИМО), которая отвечает за повышение надежности и безопасности судоходства, разработала стандарты для обеспечения кибербезопасности на море. Ведущие морские регистры мира вводят эти рекомендации и стандарты по защите судов [6].

Морской регистр Российской Федерации разработал и выпустил собственный стандарт в области информационной безопасности в декабре 2020 г., где, в частности, новые требования предусматривают необходимость организовать управление киберрисками в системах управления безопасностью не позднее, чем во время первой ежегодной проверки Документа о соответствии компании после 1 января 2021 г. [7]. Кроме того, на территории РФ уже действует Федеральный Закон по данной тематике №187-ФЗ от 26.07.2017 «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

Согласно требованиям у судовладельцев должны быть учтены такие риски как нарушение целостности данных на судне, получение злоумышленниками несанкционированного доступа к системам на корабле, заражение вирусами (в том числе вымогателями) IT-сетей на корабле, отключение OT-сегментов сетей [8].

Важно отметить, что резолюция ИМО указывает на необходимость обеспечения кибербезопасности на судах с января 2021 г. Об этом же говорят требования, разработанные Морским регистром Российской Федерации. От соблюдения данных требований будет зависеть вся морская отрасль страны.

Ввиду введения регуляций в настоящее время формируется рынок освидетельствований морских судов на предмет киберрисков, а также рынок поставки средств защиты кибербезопасности на суда. По мнению британской ассоциации портов, глобальный рынок кибербезопасности вырастет до 182 млрд в 2021 г. и будет иметь свою уникальную специфику, что позволяет его выделить в отдельный сегмент из общего рынка кибербезопасности [9] [10]. Освидетельствование судна на сегодня является обязательным. Как результат данного процесса судно получает так называемое классификационное свидетельство.

Существует два ключевых вида освидетельствования:

- Ежегодное освидетельствование. Данная процедура проводится для подтверждения класса судна и устанавливает соответствие техническим регламентам.

- Первоначальное освидетельствование. Данная процедура проходит при присвоении судну класса.

Ключевыми с точки зрения кибербезопасности объектами контроля для Морского Регистра являются: морские суда, подводный трубопроводный транспорт и морские платформы.

Морской регистр также имеет возможность инициировать платную проверку морских судов, которые заходят в российские порты. Это позволяет иметь политический аспект влияния на зарубежные суда, заходящих в российские порты.

Процедуры инспектирования иностранных судов в нашей стране соответствуют межгосударственными соглашениями.

Россия участвует в трех региональных соглашениях о государственном портовом контроле:

- Токийском

- Парижском

- Черноморском.

Указанные меморандуму определяют количество осмотров судов (до 25%) из числа иностранных торговых судов, которые могут быть досмотрены в российских портах.

Одной из проблем, на которую обращают внимание зарубежные эксперты, с которой могут столкнуться российские морские транспортные компании в ближайшее время, это риск задержек, штрафов или даже арестов грузовых, пассажирских и иных судов под флагом России в зарубежных портах.

Описанная угроза обусловлена несоответствием уровня оснащенности российских кораблей средствами информационной безопасности в соответствии с современным международным нормам

и требованиям. Данные требования содержатся в Резолюции Комитета по безопасности Международной морской организации MSC 428(98). Резолюция призывает администрации обеспечить надлежащий учет киберрисков в существующих системах не позднее первой ежегодной проверки документа компании о соответствии после 1 января 2021 г.

Морской регистр РФ имеет возможность выдавать лицензии частным компаниям на проведение освидетельствований судов в области кибербезопасности, а также выдавать лицензии на оснащения судов российской техникой, обеспечивающий киберзащиту. Такая практика применяется для технических освидетельствований судов.

Мониторинг зарубежных средств обеспечения морской кибербезопасности в последние годы показал следующее: крайнюю закрытость нишевых вендоров (Wartsila, Kongsberg и др), которые практически никому не дают спецификации оборудования и осуществляют удаленную поддержку самостоятельно (Thales, Kongsberg, Wartsila).

Морские судовые системы на сегодня производятся в основном западными компаниями. Можно разделить судовые системы на два класса: IT (Informational – информационные сети) и OT (Operational technologies – сети автоматизации работы бортового оборудования). Каждый класс систем имеет весьма широкий набор отличий от аналогичных технологий на суше. Прежде всего отличия заключаются в специфичных морских протоколах (более 10 специализированных протоколов морской отрасли, в том числе IEC, NMEA, CAN). На сегодня существенной проблемой в России является отсутствие доступа к данным двум аспектам технологии.

Эти решения и соответствующие АПК отличаются другим типом шифрования, привязаны к требованиям своих нормативных актов защиты критической информационной инфраструктуры (КИИ), что делает их неприемлемыми для использования на отечественных объектах МКБ.

Необходимо оперативно оснащать российские суда и береговые службы аппаратно-программными комплексами отечественного производства, разработать процедуру технического аудита и сертификации судов на кибербезопасность, подготовить соответствующие программы обучения персонала. Об этом, в частности, говорит начальник ФБУ «Службы морской безопасности» Сергей Семенов, однако внимания, адекватного данным рискам со стороны ряда ведомств и Росийского Морского регистра, не наблюдается.

В настоящее время в РФ в завершающей стадии находится разработка АПК «Посейдон» - Intrusion Detection System (IDS) для моря - программно-аппаратного комплекса мониторинга и контроля судовых/объектовых систем корабля для обеспечения мониторинга каналов передачи данных на предмет запрещенных и нелегитимных пакетов. Комплекс поддерживает работу с более чем 10 специализированными протоколами морской отрасли, в том числе NMEA-0183, CAN-BUS, IEC 60870-5-101/104, и дополнительно осуществляет контроль шин NMEA и CAN методом спектрального анализа состояния для определения подключения несанкционированных и вредоносных устройств на судне.

"Посейдон" включает в себя следующие ключевые функциональные компоненты:

- Устройства защиты и обнаружения угроз (IPS/IDS) – Предназначены для применения как в сетях стандарта Ethernet, так и в специализированных (CAN, NMEA-0183, NMEA-2000, SeaTalk)
- SIEM сервер (Security information and event management) - служит для отображения событий и инцидентов в сети, управления устройствами защиты, формирования отчетности и т.д.

В OT и IT сетях на корабле располагаются устройства IPS/IDS Ethernet и CAN. Одно устройство IPS/IDS рассчитано на отдельную подсеть, соответственно, необходимо поставить столько устройств, сколько подсетей требуется защитить.

На капитанском мостике требуется расположить сервер SIEM для сотрудника службы безопасности или персонала, выполняющего его роль. Обо всех критичных инцидентах можно уведомлять капитана корабля.

Важно отметить, что в отличие от систем обнаружения вторжений «на суше», где уже длительное время известны атаки и понятна их статистика, комплекс «Посейдон» как и очевидно другие аналоги вынуждены использовать алгоритмы машинного обучения, так как в настоящее время атаки на морскую инфраструктуру мало изучены.

Процесс обучения нейросетевого модуля систем обнаружения вторжений (СОВ) заключается в получении представления о нормальном состоянии системы. Для этой цели СОВ фиксируется

трафик, который имеет место быть при нормальном режиме работы системы управления транспортным средством. Сетевой трафик анализируется по статическим характеристикам и динамическим характеристикам для выявления аномального его поведения. Анализируемый модулем, захваченный пакет промышленного протокола (Ethernet протоколы стека TCP/IP, Can, NMEA-0183, NMEA-2000, SeaTalk) может быть классифицирован по его определенным полям. Для каждого протокола поля выбираются в зависимости от его спецификации.

Трафик в сети мониторится в пассивном режиме, после чего трафик поступает в модуль для предварительной обработки данных из сети, затем, после того как модуль предварительной обработки извлекает признаки для дальнейшей обработки, составляется общая структура для обработки нейронной сетью. Следующий модуль обнаружения вторжения принимает на вход подготовленную на предварительном этапе структуру ввода для обнаружения вторжения.

В 2021 году I.N.S. Fairplay провела опрос по вопросу соблюдения требований информационной безопасности на море. В опросе участвовало почти 300 человек. Треть респондентов заявила, что их компания была атакована хакерами за предыдущий год. Большинство атак были проведены с использованием вирусов-вымогателей [11].

Так как около двух третей международной торговли осуществляется морским транспортом, то важно оценивать экономические риски такого рода атак. В работе [12] выделяются следующие основные морские киберугрозы: отсутствие должной подготовки кадров, использование устаревших аппаратно-программных комплексов на судне, несовершенство стандартов кибербезопасности. При оценке кибербезопасности судно должно быть рассмотрено как независимая киберфизическая система, которая может быть подвергнута кибератаке [13].

Организации должны разработать и представить освидетельствующей организации свой подход к управлению рисками с разработкой применимых политик и практик, которые направлены на поддержание морской кибербезопасности с оценкой экономических рисков. Сотрудников на борту и на берегу необходимо проинструктировать о подходе, о том, как принимаются решения, и о любых приемлемых границах рисков.

Заключение

Таким образом, в настоящее время формируется новый рынок кибербезопасности в рамках морских перевозок. Данный рынок будет расти под действием регуляций, а также стоит ожидать влияния данного сегмента на рынок страхования грузов и перевозок. Инциденты на море, классифицированные как кибератаки, могут существенно влиять на котировки акций морских перевозчиков. Важно понимать, что средства кибербезопасности для морских судов — это достаточно новый сегмент, который не может быть копией рынка кибербезопасности наземных транспортных средств ввиду специфики морского транспорта и сложившейся цифровой экосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костарев С. В., Карганов В. В., Липатников В. А. Технологии защиты информации в условиях кибернетического противоборства: Науч. монография / Под общ. ред. В.А. Липатникова. – СПб.: ВАС, 2020. – 716 с.: ил.

2. Обухова, А. С. Пияльцев А.И. Киберпреступления и кибербезопасность в банковском секторе: понятие и современные угрозы / А. С. Обухова, А. И. Пияльцев // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Экономика. Социология. Менеджмент. – 2020. – Т. 10. – № 6. – С. 42-51.

3. Оценка киберрисков на основе бизнес-целей организации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ru/Documents/risk/russian/Oценка-kiberriskov-naosnove-biznes-celej-organizacii.pdf> (дата обращения: 17.09.2021)

4. Цифровая трансформация экономики / В. И. Абрамов, Н. Л. Акулова, Е. В. Анисов [и др.]. – Москва : Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2020. – 252 с. – ISBN 9785726226477.

5. Экономические санкции как способ стимулирования инновационной активности организаций / Е. Л. Богданова, В. И. Абрамов, А. К. Титов, Д. М. Кучерявенко // Экономика и предпринимательство. – 2015. – № 8-1(61). – С. 667-671.
6. Морские вести России. // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://morvesti.ru/analitika/1692/82776/> (дата обращения 15.09.2021).
7. Сайт Российского Морского Регистра. // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://rs-class.org/news/general/rs-vypustil-rukovodstvo-po-kiberbezopasnosti/> (дата обращения 15.09.2021).
8. Руководство по обеспечению кибербезопасности. // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/getDocument?type=rules&d=BD2581FF-C53E-49FB-B8F8-0021E7F08005&f=2-030101-040> (дата обращения 15.09.2021).
9. Морская кибербезопасность — ситуация, проблемы и риски. // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/columns/cybercolumn/morskaya-kiberbezopasnost-situatsiya-problemy-i-riski/> (дата обращения 16.09.2021).
10. Абрамов, В. И. Экономическое содержание и структура рынка технологий / В. И. Абрамов // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – № 1(63). – С. 5-8.
11. РайдерД. Cyber Security at Sea: The Real Threats // The Maritime Executive – 2018 г. // Электрон. дан. Режим доступа URL: [URL: https://www.maritime-executive.com/blog/cyber-security-at-sea-the-real-threats](https://www.maritime-executive.com/blog/cyber-security-at-sea-the-real-threats) (дата обращения 15.09.2021).
12. Цыгута, А. Н. Кибербезопасность, как один из факторов развития морской отрасли / А. Н. Цыгута, А. В. Амплеева // Транспорт: проблемы, цели, перспективы: Материалы всероссийской научно-технической конференции, Пермь, 15 февраля 2020 года / Под редакцией Е.В. Чабановой. – Пермь: Пермский филиал ФГБОУВО "Волжский государственный университет водного транспорта", 2020. – С. 65-68.
13. Кожевникова, С. А. Экономический анализ систем управления. / С. А. Кожевникова, Ю. О. Святун, В. И. Абрамов. – Красноярск : ООО "Научно-инновационный центр", 2015. – 172 с. – ISBN 9785906314314.

CYBER SECURITY OF MARINE INFORMATION SYSTEMS: FEATURES AND ECONOMIC RISKS

¹Mikhailov Dmitry M., Cand. of Tech. sciences

²Abramov Viktor I., Doctor of Econ. Sciences

¹BRICS Institute of Future Networks,
Shenzhen, China, e-mail: ¹mikhaylovdm@bifnc.cn

²SI Institute of Applied Information Technologies,
Moscow, Russia, e-mail: ²viabramov@mephi.ru

Since 2021 most Maritime registers introduced the world's first cybersecurity regulations for maritime transport, which was due to the increasing risks of attacks on the critical infrastructure of ships. The incident with the closure of the Suez Canal, although not the result of a cyberattack, showed how much the world economy depends on the sustainability of this industry. Protecting ships from cyberattacks is not a simple technical task that will be solved only after the formation of new regulations and their systematic tightening.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАСХОЖДЕНИЯ ВСТРЕЧНЫХ СУДОВ НА ОСНОВЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

¹Сатин Виктор Владимирович, доцент кафедры судовождение

^{2,3}Кубрин Сергей Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией, заведующий кафедрой

⁴Иванов Игорь Михайлович, доцент кафедры

¹ ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»;
Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

²ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова
Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: ²kubrin_s@ipkonran.ru

³Академия водного транспорта ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта»,
Москва, Россия, e-mail: ³s_kubrin@mail.ru; ⁴evropa67@mail.ru

Данная статья посвящена вопросу повышения безопасности расхождения встречных судов. Проведен анализ возможности использования данных, передаваемых Автоматической идентификационной системой, в задаче решения треугольника скоростей. Предложены средства визуализации информации о встречном судне, повышающие информационность о его элементах движения и выполняемом маневре. Рекомендовано использование прогностических траекторий сближения со встречным судном с указанием дистанции и времени кратчайшего сближения. Разработана математическая модель на основе статистических данных по выявлению маневра встречного судна.

Введение

С середины 90-х годов Автоматическая Идентификационная Система (АИС) прошла путь от технического предложения до обязательного вида навигационного оборудования, подлежащего установке на большинстве типов судов согласно Конвенции SOLAS. Относительно несложная с технической точки зрения, небольшая по габаритам и недорогая в производстве судовая аппаратура АИС, по оценке специалистов, вносит существенный вклад в безопасность мореплавания, сравнимый с применением на водном транспорте радиолокационных станций (РЛС) или спутниковой навигации. При этом полностью потенциал возможности использования АИС в целях безопасности судовождения еще не реализован.

Постановка задачи

АИС – многофункциональная информационно-техническая система, оборудование которой устанавливается на судах и в береговых службах в целях обеспечения безопасности мореплавания и автоматизации обмена навигационной информацией. Она в основном обеспечивает:

-автоматическую и регулярную передачу судном другим судам и береговым службам информации, включающей сведения о судне, координаты, курс, скорость и другие данные;

-автоматический прием, обработку и отображение аналогичной информации от других судов и береговых служб;

-автоматическое сопровождение (прокладку движения) судов, оборудованных АИС, в целях предупреждения столкновений, а также контроля и регулирования судоходства;

-автоматизированный обмен сообщениями, связанными с безопасностью мореплавания, между судами и береговыми службами.

Согласно МППСС 72 судоводитель при плавании для определения опасности столкновения условий безопасного должен использовать все имеющиеся в его распоряжении средства для определения её (опасности) наличия (правило 7). Одним из критериев, определяющих безопасное расхождение со встречным судном является безопасное расстояние (правило 8). При определении безопасного расстояния на основе треугольника скоростей учитывается дистанция кратчайшего сближения судов и интервал времени до точки кратчайшего сближения. Решение треугольника скоростей сближения судов, при условии сохранения ими скорости и курса, в ходе которого дистанция кратчайшего сближения будет равна нулю, обладает особенностью, заключающейся в постоянстве угла между линией соединяющей эти суда и меридианом. Так называемое правило постоянства пеленга. постоянства пеленга. Эта особенность частного решение задачи треугольника скоростей повсеместно используется на практике всеми судоводителями для выявления опасности столкновения судов. Следует отметить, что что постоянство пеленга между судами не всегда ведет к опасности их столкновения. Это происходит только при сближении судов. При расхождении и движении параллельными курсами опасность столкновения отсутствует.

Использование АИС в оценке опасности сближения встречных судов

Развитие систем автоматизации позволило формализовать решение задачи расчёта треугольника скоростей сближающихся судов. Эта автоматизированная функция реализована в средствах автоматической радиолокационной прокладки (САРП). В основной САРП освобождает вахтенного штурмана от выполнения простых стандартных операций. Они (САРП) не решают основную задачу - предупреждения столкновения судов, а лишь только геометрический расчет треугольника скоростей. При этом часто не учитываются габариты сближающихся судов. Анализ мировой и отечественной статистики аварий и катастроф, причиной которых явились столкновения судов, подтверждает, что переоценка значимости САРП, ведет к большим убыткам и гибели людей.

Поэтому необходимо учитывать возможности САРП при выявлении опасности столкновения. Основное ограничение САРП, связано с тем, что решение треугольника скоростей она производит по данным радиолокационной станции. При этом курс и скорость встречного судна определяется по спустя некоторое время по ранее произведенным замерам. Обычно, при движения встречного судна с постоянными курсом и скоростью для определения элементов движения цели требуется минута. В случае, если встречное судно маневрирует, то, определяемые элементы движения цели существенно отличаются от фактических, и таким образом решение треугольника скоростей некорректно и, как следствие, возникает неопределённость в выявлении опасного или безопасного сближения судов. Следует отметить, что современные морские суда могут достигать значительных размеров. И к сожалению габариты судов САРП учесть не в состоянии. А длина судна в несколько сот метров существенно влияет на дистанцию кратчайшего сближения. Таким образом, выявлено, что для оценки опасного сближения САРП имеет три существенных недостатка. Во-первых, процессу определения элементов движения встречного судна требуется некоторое время, то есть обладает некоторой инертностью. Во-вторых, для определения, что элементов движения встречного судна при его маневрировании изменились требуется время. То есть, процесс выявления маневра встречного судна также инертен. В-третьих, невозможно учесть габариты своего и встречного судна, что существенно осложняет принятие верного решения по расхождению.

В то же время, АИС передает ряд данных о судне. На этой основе возникает возможность, на основе комплексования двух систем САРП и АИС минимизировать или даже устранить указанные недостатки САРП. Самое простое и уже реализованное решение, это передача с помощью АИС текущих скорости и курса судна. Ввод напрямую этих данных в САРП позволит сократить время определения, что встречное судно начало маневрирование. Передача данных о текущем водоизмещении судна позволит в задаче определения дистанции сближения при решении задачи треугольника скоростей учесть инерцию встречного судна (время и его путь по прямой до входа в циркуляцию). Передача данных о длине и ширине судна позволит более точно определить дистанцию кратчайшего сближения.

Обычно эхо сигнал от встречного судна на радиолокаторе (РЛС) отображается в виде некоторого пятна. С учетом относительного перемещения это пятно вытягивается в некоторую фигуру вдоль линии сближения судов. Если представить в первом приближении отметку судна, как эллипс, то, зная текущий курс встречного судна несложно определить, так называемый «центр тяжести» этой отметки. Построив вокруг полученной точки («центра тяжести» эхо отметки) контур судна, исходя из параметров, передаваемых АИС с вектором движения (курса и скорости встречного судна) наглядность изображения существенно повышается. Информацию об изменении курса встречного судна по данным АИС следует отображать вектором угловой скорости поворота с прогнозируемой траекторией перемещения с учетом инерционных характеристик встречного судна. Информацию об изменении скорости хода отображается в виде вектора ускорения. В целом, при выполнении встречным судном одновременного маневра скоростью и курсом на экране РЛС следует отображать в виде прогнозируемой линии пути, с индикацией кратчайшей дистанции сближения и интервала времени до точки кратчайшего сближения. В целом, прогнозирование параметров движения встречного судна необходимо производить на основе авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего:

$$\Delta^d X_t = c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d X_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \quad (1)$$

где: X_t - значение прогнозируемого элемента движения встречного судна в момент времени t ;

ε_t - стационарный временной ряд;

c, a_i, b_j - параметры модели;

Δ^d - оператор разности временного ряда порядка d .

Тогда, координаты встречного судна могут быть рассчитаны на основе предыдущих координат (2) или курсов и скоростей (3)

$$\begin{aligned} \Delta^d \varphi_t &= c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d \varphi_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \\ \Delta^d \lambda_t &= c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d \lambda_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \varphi_t &= \varphi(K_t, V_t) \\ \lambda_t &= \lambda(K_t, V_t) \\ \Delta^d K_t &= c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d K_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \\ \Delta^d V_t &= c + \sum_{i=1}^p a_i \Delta^d V_{t-i} + \sum_{j=1}^q b_j \varepsilon_{t-j} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (3)$$

где: φ_t - широта в момент времени t ;

λ_t - долгота в момент времени t ;

K_t - курс в момент времени t ;

V_t - скорость в момент времени t .

На основе приведенных уравнения и с учетом данных передаваемых АИС о встречном судне разработан специализированный алгоритм. В случае отсутствия информации о параметрах загрузки, курсе и скорости встречного судна выявление его маневра осуществляется на основе статистической обработки информации с радиолокационной станции. В этом случае встречное судно считается маневрирующим курсом и/или скоростью, если для некоторого набора временных окон, увеличивающихся постепенно на 5 секунд ($\Delta T = 5n, n \in \mathbb{N}$), знак тангенса угла наклона α, α' прямой, аппроксимирующей набор значений соответствующего параметра движения встречного судна $\{p(\Delta T)\}$, сохраняет знак ($\text{sgn tg } \alpha = \text{sgn tg } \alpha'$).

Выводы

Рассмотрены вопросы повышения информативности о движении встречных судов на основе сопряжения РЛС и АИС для совместного использования. Представлены решения по индикации маневров встречного судна скоростью, курсом и совместно курсом и скоростью. Указано о необходимости построения прогнозных линий движения встречного судна с указанием времени и дистанции кратчайшего сближения. В случае отсутствия информации о параметрах движения встречного судна (курса и скорости), передаваемых с помощью АИС, предложен алгоритм выявления маневра на основе статистической обработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухарёв А.А., Кубрин С.С. Прогнозирование траекторий перемещений транспортных производственных единиц в стесненных условиях (карьер, порт, буровая платформа) для обеспечения безопасности. ГИАБ. М. 2016 № 8 С. 109-118.

2. Кубрин С.С., Мухарев А.А. Прогнозирование траектории судов в целях повышения безопасности судоходства с использованием моделей ARIMA. III Балтийский морской форум. Международная научная конференция. «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии». 24 -30 мая Калининград 2015. ФА по рыболовству, КГТУ, С. 19-20.

3. Кубрин С.С., Мухарев А.А., Сатин В.В. Повышение безопасности судоходства в узкостях на основе прогнозирования траектории по данным АИС. IV Балтийский морской форум. Международная научная конференция. «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии». 22 - 28 мая Калининград 2016. ФА по рыболовству, КГТУ, С. 41-43.

4. Кубрин С.С., Алешин А.А. Пути повышения безопасности плавания в арктическом регионе. Судоходство и обеспечение безопасности судоходства. Материалы Международной XXXVIII научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов государственной академии водного транспорта. ФА Морского и речного транспорта МГАВТ филиал ФГБОУ ВО Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. Москва 2017. С. 37-44

ON THE ISSUE OF IMPROVING THE SAFETY OF DIVERGENCE OF MEETING VESSELS BASED ON THE JOINT USE OF A RADIO-LOCATION STATION AND AN AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM

¹Satin Viktor Vladimirovich, associate Professor

^{2,3}Kubrin Sergey Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of the laboratory, head of the department

⁴Ivanov Igor Michaylovich, associate Professor of the department

¹FSBEI HE "Kaliningrad state technical university";

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia, e-mail: kaf-bm@bga.gazinter.net

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: ²kubrin_s@ipkonran.ru

³Academy of Water Transport, Russian University of Transport.

Moscow, Russia, e-mail: ³s_kubrin@mail.ru; ⁴evropa67@mail.ru

This article is devoted to the issue of improving the safety of divergence of oncoming vessels. The analysis of the possibility of using the data transmitted by the Automatic identification System in the problem of solving the velocity triangle carried out. The means of visualizing information about an oncoming

vessel proposed, which increase the information content about its elements of movement and the maneuver performed. It recommended using predictive trajectories of approaching an oncoming vessel with an indication of the distance and time of the shortest approach. A mathematical model has developed based on statistical data on detecting the maneuver of an oncoming vessel.

УДК 629.5.052.4

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЕФЛЕКТОРОМ КОЛОНГА НА БЕРЕГУ И В МОРЕ

¹Сатин Виктор Владимирович, доцент кафедры судовождение

^{2,3}Кубрин Сергей Сергеевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией, заведующий кафедрой

⁴Япшаров Евгений Романович, канд. техн. наук, доцент кафедры

¹ ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»; Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹kaf-bm@bga.gazinter.net

²ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: ²kubrin_s@ipkonran.ru

³Академия водного транспорта ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», Москва, Россия, e-mail: ³s_kubrin@mail.ru; ⁴evropa67@mail.ru

Освящен вопрос точности измерения горизонтальных магнитных сил с помощью дефлектора Колонга в береговых условиях и в море. Перечислены случайные и систематические ошибки, возникающие при измерении горизонтальных магнитных сил напряженности магнитного поля. Показан расчет приближенной величины ошибки для магнитного компаса. Сравнительные значения величин горизонтальной составляющей магнитного поля, полученные на судне и в береговых условиях, приведены в дефлекторных единицах.

Введение

Магнитный компас, основанный на способность магнитной стрелки ориентироваться в магнитной поле Земли вдоль магнитного меридиана известен в мире уже более тысячу лет. Его изобретение произошло в Китае в период царствования династии Сун и считается одним из четырех великих китайских открытий. На протяжении многих лет магнитный компас был главным курсоуказателем у моряков. Его значимость при совершения морского плавания неоспорима. За последнее столетие на его смену пришли новые приборы - курсоуказатели, основанные на разных физических принципах. Это гирокомпасы, гироазимуты, спутниковые компасы, лазерные и волоконно-оптические компасы. Магнитный компас из основного прибора курсоуказания стал резервным прибором. Но его значимость в судовождении остается большой из-за его автономности и не зависимости от электропитания, времени эксплуатации и работы глобальных систем. Поэтому, необходимость контролировать его состояние и выполнять необходимое обслуживание является одним из условий, направленных на обеспечение безопасности мореплавания.

Одним из способов компенсации девиации магнитного компаса, возникающей из-за воздействия магнитных полей судна и груза, является способ русского морского инженера, генерал-майора Колонга (Жан-Александр-Генрих Клапье де-Колонг) в 1879 году. Для его применения требуется небольшой, простой прибор с магнитами, позволяющий с помощью их взаимного вращения измерять в условных единицах напряженность магнитного поля. Точность измерения горизонтальных магнитных сил напряженности магнитного поля дефлектором зависит от ряда причин, порождающих случайные или систематические ошибки измерений, к которым относятся:

- неточность отсчета силы по шкале дефлектора;
- застой картушки;
- малые колебания картушки на ходу судна;
- неточность в удержании курса;
- неточность в отклонении картушки на 90° ;
- наклон котелка;
- неправильное положение индекса для отсчета силы;
- неперпендикулярность магнитной оси вспомогательного магнита визирной плоскости пеленгатора;
- индукция измерительного магнита на «мягкое» железо снабжения.

Точность измерения горизонтальных магнитных сил с помощью дефлектора в береговых условиях

Неточность отсчета силы по шкале дефлектора для горизонтальных магнитных сил обусловлена тем, связана с тем, что отсчет положения индекса делается на глаз с точностью, не превышающей $\pm 0,1$ мм, что для верхних делений соответствует $\pm 0,02$ д.е. 1, для средних делений ± 01 д.е. и нижних делений $\pm 0,8$ д.е. так как шкала дефлектора неравномерная. Данная ошибка имеет случайный характер.

Застой картушки в момент измерения горизонтальной составляющей магнитного поля определяется силой вспомогательного магнита дефлектора. Вспомогательные магниты выпускаются с магнитным моментом 200 ед. CGSM и располагаются в своем гнезде на расстоянии 12 см от стрелок картушки, создавая напряженность поля в центре картушки, равную 0,115 эрстедам. Допускаемый угол застоя при такой напряженности поля у исправленного котелка компаса $\pm 0,2$. Этой величине застоя соответствует сила трения в 0,3 д.е. при величине магнитного момента измерительного магнита 1700 ед. CGSM. Значит, застой картушки внесет ошибку в измеряемую величину силы не меньше $\pm 0,3$ д.е. Данная ошибка имеет случайный характер.

Неточность в отклонении картушки на 90° при измерении горизонтальной составляющей магнитного поля в береговых условиях оценивается в $\pm 0,1^\circ$. Картушка магнитного компаса, не доведенная на эту величину до отклонения, находится под действием малой разности сил $H - P$ и силы f вспомогательного магнита (H – горизонтальная составляющая магнитного поля Земли, P – магнитные силы компаса). Отсюда $H - P = \operatorname{tg}(0,1^\circ) = 0,15$ д. е. Данная ошибка имеет случайный характер.

Наклон котелка при измерении силы может быть в двух направлениях или относительно двух осей:

- относительно горизонтальной оси x , лежащей в визирной плоскости пеленгатора;
 - относительно горизонтальной оси y , перпендикулярной визирной плоскости пеленгатора.
- Пересечение этих осей совпадает с острием шпильки.

Когда котелок кренился на угол β , поворачиваясь вокруг оси x , то измерительный магнит описывает цилиндрическую поверхность, по оси которой расположена компасная стрелка (рис.1), и действие его на стрелку не изменяется.

¹ Дефлекторная единица

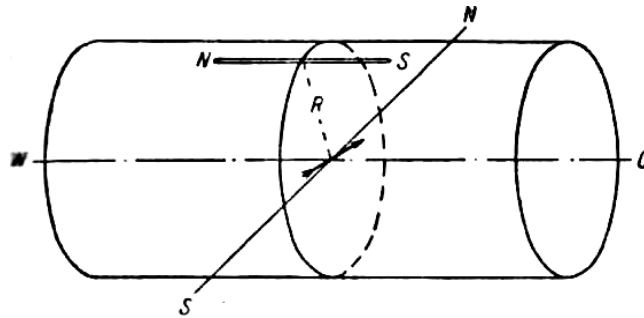


Рис. 1. Взаимное движение измерительного магнита и компасной стрелки

Когда котелок кренился на угол α вокруг оси y , то измерительный магнит действует на стрелку компаса не полной своей силой, а ее проекцией на горизонтальную плоскость, в которой лежит стрелка, равна $F \cos \alpha$. Это равносильно незначительному уменьшению магнитного момента измерительного магнита, что при постоянном угле наклона котелка не имеет никакого практического значения при измерении сил. Если котелок кренился в промежуточном направлении (вкось) между осями x и y , т. е. одновременно на угол α и угол β то, кроме проекции $F \cos \alpha$, параллельной магнитной оси стрелки, появляется поперечная проекция силы $F \cos \alpha$, перпендикулярно действующей магнитной оси стрелки, то есть сила $F \cos \alpha \sin \beta$.

Эта проекция, будучи перпендикулярной к магнитной оси стрелки, значительно отклоняет стрелку в начальный момент измерения силы H . При наклоне котелка вперед и влево или назад и вправо от наблюдателя проекция $F \cos \alpha \sin \beta$ помогает вспомогательному магниту подвести отметку W катушки магнитного компаса под призму пеленгатора, при наклоне котелка вперед и вправо или назад и влево уменьшает действие вспомогательного магнита. При крене котелка, которому соответствует $\alpha = 5^\circ$ и $\beta = 5^\circ$, и при максимальной силе $F = 400$ д.е. прибавка к силе вспомогательного магнита будет около 3 д.е., что никакого практического значения не имеет.

Неправильное положение индекса для отсчета сил вызывает систематическую ошибку, переменную по величине, так как шкала сил неравномерна. Штрихи индексов для отсчета горизонтальных сил должны находиться на 15,6 и 5,6 мм выше плоскости проходящей через центр измерительного магнита в дефлекторе, параллельно дну его основания. Допускаемая ошибка в положении индекса в $\pm 0,25$ мм приведет к тому, что вместо отсчета 30 д.е. будет прочитан отсчет 30,06 д.е., а вместо отсчета 390 д.е. – отсчет 391,8 д.е., т. е. максимальная ошибка в отсчете будет около 2 д.е.

Неперпендикулярность магнитной оси вспомогательного магнита визирной скости пеленгатора является причиной того, что катушка отклонится не точно 90° в момент равенства сил $H = F$, и при отклонении катушки точно на 90° сила измерительного магнита будет увеличена или уменьшена на величину противодействия вспомогательного магнита, равную $f \sin \Delta$, где Δ — угол между магнитной осью вспомогательного магнита и перпендикуляром к визирной плоскости пеленгатора. Считая, что угол Δ после выверки дефлектора не превышает 1° и приняв силу $f = 0,115 \text{ э} = 84$ д. е., получим $f \sin \Delta = 84 \cdot 0,017 = 1,4$ д. е. Эта ошибка имеет систематический характер.

Индукция измерительного магнита на мягкое железо снабжения порождает ошибку систематического характера в отсчете силы по дефлектору. Величина измеряемой силы почти всегда, кроме частных случаев взаимного расположения измерительного магнита и шаров, будет больше действительной, так как действие измерительного магнита экранируется мягким железом, вследствие чего измерительный магнит приходится опускать ниже для усиления его действия на катушку.

Формула расчёта эффекта экранирования:

$$\frac{H_6}{H_M} = \frac{M_H R_M^3}{M R_6^3} = \frac{\chi V R_M^3}{R_6^3 r^3} \cos \alpha \quad (1)$$

где H_6 – напряженность магнитного поля, возбужденного бруском мягкого железа;

H_M – напряженность магнитного поля магнита в той же точке;

M_H – индуцированный магнитный момент бруска;

M – магнитный момент. момент силы;

R_M – расстояние от центра магнита до данной точки;

R_6 – расстояние от центра бруска до данной точки;

α – угол между направлением вектора H и осью бруска;

χ – магнитная восприимчивость тела;

V – объем бруска;

r – расстояние между центрами магнита и бруска «мягкого» железа,

показывает, что эффект экранирования мягким железом прямо пропорционален произведению объема и магнитной восприимчивости мягкого железа на куб расстояния между компасной стрелкой и измерительным магнитом и на косинус угла между магнитной осью измерительного магнита и осью бруска мягкого железа, и обратно пропорционален произведению кубов расстояний от мягкого железа до стрелки и до магнита.

Эффект экранирования не зависит от степени компенсации индукции стрелок картушки, так что в отсчете силы по дефлектору при полностью скомпенсированной индукции стрелок картушки будет иметь место ошибка.

Оценка ошибки из-за возможных наклонов котелка компаса

Расчет приближенной величины ошибки произведен для магнитного компаса со 127 мм картушкой, снабженного двумя продольными брусками компенсаторами длиной 30 см мягкого в магнитном отношении железа.

Наименьшее расстояние между центром измерительного магнита дефлектора и концом продольного бруска компенсатора будет равно 30 см. Для расчета напряженности поля магнита, намагничивающего брусок мягкого железа, расстояние для ближайшего положения магнита равным 30 см, а для среднего и дальнего положений магнита — равным 40 и 45 см. Тогда согласно формуле (1) с учетом, что $H_m = \frac{M}{R^3} = \frac{1700}{R^3}$ имеем соответственно 0,063, 0,0265 и 0,018 э.

Магнитный момент M_6 бруска для трех положений магнита с учетом, что магнитная восприимчивость материала бруска $\chi = 30$, коэффициент размагничивания $N = 0,12$ (магнитная восприимчивость бруска и его объем равны $\chi = 6$, $V = 113 \text{ см}^3$) составят согласно формулы $M = \chi V H M$ соответственно: 42, 18 и 13 ед. CGSM. Расстояние от центра бруска до центра магнитной системы картушки равно 12 см. Следовательно, напряженность магнитного поля H_6 , возбужденная бруском в центре катушки, будет $H_6 = \frac{M_6}{12^3}$. Таким образом, для трех положений магнита величина эффект экранирования равна: 0,024 э (18 д. е.), 0,010 э (7 д. е.) и 0,002 э (1,5 д. е.), а от двух брусков соответственно 36, 14 и 3 д.е. Отсюда видно, что индукция измерительного магнита дефлектора на мягкое железо снабжения порождает переменную ошибку, которая может иметь значительную величину при измерении сил в нижней части шкалы дефлектора.

Несовпадение магнитной оси измерительного магнита с визирной плоскостью пеленгатора не порождает ошибки, так как это явление равносильно некоторому уменьшению магнитного момента измерительного магнита и изменению магнитного момента вспомогательного магнита. Действительно, если магнитная ось измерительного магнита составляет угол α с визирной плоскостью пеленгатора, то уравнивание измеряемой силы H производится не полной силой F измерительного магнита, а ее проекцией в визирной плоскости пеленгатора, равной $F \cos \alpha$, что равносильно уменьшению магнитного момента измерительного магнита.

Вторая проекция, равная $F \sin \alpha$, увеличивает или уменьшает действие вспомогательного магнита. Отсюда следует вывод, что наличие вспомогательного магнита не обязательно и даже излишне, если иметь в виду ошибку, порождаемую возможной неперпендикулярностью магнитной оси этого магнита визирной плоскости пеленгатора и надобностью производить соответствующие проверки.

Чтобы обойтись без вспомогательного магнита, достаточно повернуть ось измерительного магнита вправо от визирной плоскости пеленгатора на угол, определяемый из отношения $\sin \alpha = 200:1700 = 0,118$, откуда $\alpha = 6^\circ,8$. Тогда измерительный магнит с магнитным моментом 1700 ед. CGSM будет играть роль двух магнитов:

- измерительного с магнитным моментом $1700 \cos 6^\circ,8 = 1690$ ед. CGSM;

- вспомогательного с магнитным моментом $1700 \sin 6^\circ,8 = 200$ ед. CGSM.

При этом исключаются ошибки, порождаемые наличием вспомогательного магнита.

Принимая во внимание случайные ошибки от неточности отсчета силы по шкале дефлектора, от застоя картушки и неточности в отклонении картушки на 90° , величина случайной ошибки в измеренной на берегу горизонтальной составляющей магнитного поля равна:

$$\Delta_H = \sqrt{(0,8)^2 + (0,3)^2 + (0,2)^2} = 0,9 \text{ д.е.} \quad (2)$$

Систематические ошибки, кроме индукции измерительного магнита на мягкое железо, складываясь, могут дать ошибку в измеряемой силе до ± 4 д. е. Следовательно, дефлектором Колонга можно измерить горизонтальную силу на берегу с точностью $\pm 1 - \pm 5$ д. е. в зависимости от величины измеряемой силы и влияния систематических ошибок при отсутствии мягкого железа у компаса или при достаточном удалении железа от центра картушки.

При наличии близко расположенных брусков и шаров мягкого в магнитном отношении железа измерения горизонтальных сил дефлектором Колонга могут быть ненадежными, если в результате измерений не вводить соответствующих поправок за индукцию измерительного магнита.

Точность измерения горизонтальных сил на судне будет понижена из-за добавочных ошибок. Малые колебания картушки на ходу судна относительно положения равновесия возникают вследствие вибраций нактоуза при работе машин и неточного сохранения курса. При измерении сил дефлектором из-за этих колебаний картушка будет отклоняться не точно на 90° , а, предположим, с ошибкой $\pm 0^\circ,5$. Тогда вследствие неточности в отклонениях картушки на 90° возникает ошибка, равная $H - F = f \operatorname{tg} 0^\circ,5 = 84 \cdot 0,009 = \pm 0,8$ д.е. Эта ошибка имеет случайный характер.

Неточность в удержании курса судна является причиной непрерывного изменения равнодействующей силы H' или ее проекций X' и Y' . Эти изменения представляют собой как бы колебания относительно некоторого значения силы, соответствующего данному курсу судна.

Чтобы найти изменения H' при малых изменениях курса, надлежит формулу, выражающую зависимость равнодействующей силы и девиации от компасного курса продифференцировать по переменной K и в полученное выражение подставить значения входящих туда величин коэффициентов девиации, курсов и девиаций.

Так, например, при $\lambda H = 100$ д. е., коэффициенты девиации $A = B = 10^\circ$, $C = D = 2^\circ$, $\Delta k = 0^\circ$ и $\delta = \pm 12^\circ$

Ошибка в определении $\Delta H = \pm 0,53$ д.е.

Эта ошибка имеет случайный характер.

Принимая во внимание случайные ошибки от неточности отсчета силы по шкале дефлектора, от застоя картушки, неточности в отклонении картушки на 90° , от малых колебаний картушки на ходу судна и неточности в удержании судна, получим величину максимальной случайной ошибки в измеренной горизонтальной составляющей магнитного поля на судне:

$$\Delta_H = \sqrt{(0,8)^2 + (0,3)^2 + (0,2)^2 + (0,8)^2 + (0,5)^2} = 1,3 \text{ д.е.} \quad (2)$$

Если принять во внимание еще систематические ошибки, то при достаточном удалении мягкого железа снабжения можно измерить дефлектором Колонга горизонтальную силу на судне с точностью от $\pm 1,5$ до ± 6 д. е.

Основываясь на изложенном, следует, что при отсутствии или достаточном удалении мягкого железа снабжения и без учета других систематических ошибок горизонтальные силы измеряются дефлектором Колонга в среднем с точностью ± 1 д. е. на берегу и $\pm 1,5$ д. е. на судне. При наличии близко расположенного мягкого железа без введения соответствующих поправок измерения сил становятся ненадежными.

Выводы

В статье определен полный список возможных ошибок при определении горизонтальной составляющей магнитного поля. Определены их типы: случайные или систематические. Проведенный всесторонний анализ ошибок, возникающих при определении горизонтальной составляющей индукции магнитного поля показал, что при отсутствии или достаточном удалении мягкого в магнитном отношении железа снабжения они не велики. В случае наличия близко расположенного мягкого

в магнитном отношении железа измерения горизонтальной составляющей магнитных сил становятся ненадежными. В этом случае необходимо использовать соответствующие поправки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терехов И.Н., Вешняков Н.И. Магнитные компасы. Курс кораблеводства. Том V. Книга
2. УНГС ВМФ. – Л., 1959. – 639 с.
2. Смирнов Е.Л., Яловенко А.В., Воронов В.В. Технические средства судовождения. Учебник для вузов. – СПб.: «Элмор», 1996. – 544 с.
3. Рыбалтовский Н.Ю. Магнитнокомпасное дело. – Л.: Водтрансиздат, 1954. – 492 с.

EVALUATION OF THE ACCURACY OF MEASURING THE HORIZONTAL COMPONENT OF THE MAGNETIC FIELD BY THE COLONG DEFLECTOR ON THE SHORE AND AT SEA

¹Satin Viktor Vladimirovich, associate Professor

^{2,3}Kubrin Sergey Sergeevich, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of the laboratory, head of the department

⁴Yapparov Evgeny Romanovich, Ph.D. of Engineering Sciences, associate Professor of the department

¹ FSBEI HE "Kaliningrad state technical university";

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹kaf-bm@bga.gazinter.net

²Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: ²kubrin_s@ipkonran.ru

³Academy of Water Transport, Russian University of Transport, Moscow, Russia, e-mail: ³s_kubrin@mail.ru; ⁴evroppa67@mail.ru

The article highlights the issue of the accuracy of measuring horizontal magnetic forces using a Kolonga`s deflector in coastal conditions and in sea. Random and systematic errors that occur when measuring horizontal magnetic forces of the magnetic field strength are listed. The calculation of the approximate error value for a magnetic compass is shown. The comparative values of the horizontal component of the magnetic field obtained on the ship and in shore conditions are given in deflector units.

СИСТЕМА ИРИДИУМ И ЕЕ СУДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ В ГМССБ

Степаненко Дмитрий Петрович, канд. тех. наук, доцент, доцент кафедры СРТС

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота
ФБГОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: stepanenko49@yandex.ru

Рассматривается развитие технологий связи в ГМССБ, связанное с использованием на судах оборудования спутниковой системы Иридиум на примере процедур радиосвязи ее судовым терминалом LT-3100S.

Акцентируется внимание на особенностях активации этого терминала, принципах оповещения о бедствии с его помощью и на особенностях получения им информации по безопасности на море (ИБМ) из сети SafetyCast этой системы.

Коммерческая система спутниковой связи Иридиум берет свое начало с конца 80-х годов прошлого века в виде идеи использования для спутниковой радиосвязи технологии мобильной GSM телефонии. Эту идею, в полной мере, удалось воплотить только к 20-м годам нынешнего столетия во многом благодаря поддержке военного ведомства США.

В итоге эта система, базирующаяся на 66 низколетящих спутниках, играющих роль базовых станций систем мобильной телефонной связи, смогла обеспечить глобально доступную телефонную связь и передачу текстовых сообщений [1].

Такие возможности, безусловно, сделали ее привлекательной для использования в Глобальной морской системе связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ), которая изначально испытывала существенные трудности в обеспечении радиосвязью судов, находящихся в приполярных областях Земли [2].

11 декабря 2020 года система Иридиум была официально запущена в качестве одной из подсистем ГМССБ, внося в нее существенные изменения с точки зрения технологий связи с судами для решения задач, определенных конвенцией СОЛАС-74 для судового оборудования ГМССБ [3, 4].

В таблице 1 приведены сведения об услугах системы Иридиум в ГМССБ и для обычной связи.

Таблица 1

Услуги и приоритеты судового оборудования системы Иридиум [5]

Услуги	Инициатор	Приоритет			
		Distress	Urgency	Safety	Routine
Оповещения о бедствии	Судно	x	-	-	-
ИБМ (включая ретрансляционное оповещение о бедствии)	Берег	x	x	x	-
Вызов для безопасности	Судно, берег	x	x	x	-
Обмен сообщениями по безопасности	Судно, берег	x	x	x	-
Обычные вызовы (голосовой вызов)	Судно, берег	-	-	-	x
Обмен обычными сообщениями (СМС)	Судно, берег	-	-	-	x

Хотя во многом технологии связи системы Иридиум при реализации услуг в ГМССБ базируются на опыте эксплуатации судового оборудования ГМССБ спутниковой системы Инмарсат, существуют существенные отличия, связанные с иной инфраструктурой системы Иридиум и реализацией в ней последних достижений в области компьютерных систем телекоммуникации.

Не вдаваясь в подробности технической и организационной реализации проекта системы Иридиум, которые изложены, например в [1, 4], можно, рассматривая эксплуатационные процедуры использования в ГМССБ судового терминала LT-3100S [5] проанализировать характерные и отличительные особенности этих процедур от соответствующих процедур использования судовых терминалов системы Инмарсат.

Прежде всего, обращает на себя внимание процедура активирования судового терминала системы Иридиум, которая требует не только приобретения специальной SIM-карты для предоставления как бесплатных ГМССБ услуг, так и оплачиваемых услуг обычной связи, но и создание у провайдера этой системы базы данных, необходимых для поиска и спасания судна.

Эти данные подлежат автоматической сверке в процессе первоначального вхождения оборудования в систему или после замены этой карты.

Судовой терминал ГМССБ системы Иридиум является частью компьютерной сети безопасности этой системы, поэтому часть функций ГМССБ выполняется сервером этой сети без организации соединения судна с береговыми службами ГМССБ, отдавая предпочтение в соединении той службе, которая в данный момент имеет наивысший приоритет (см. Табл.1).

Такие предпочтения определяются системным сервером, благодаря сведениям о приоритете, сопровождающим каждый вызов, передаваемый как со стороны судна, так и со стороны береговой службы, что позволяет прерывать текущее телефонное соединение при наличии вызова более высокого приоритета.

На рисунке 1 приведены окна дисплея судового терминала LT-3100S, иллюстрирующие рекомендуемые этапы оповещения о бедствии с помощью этого оборудования.

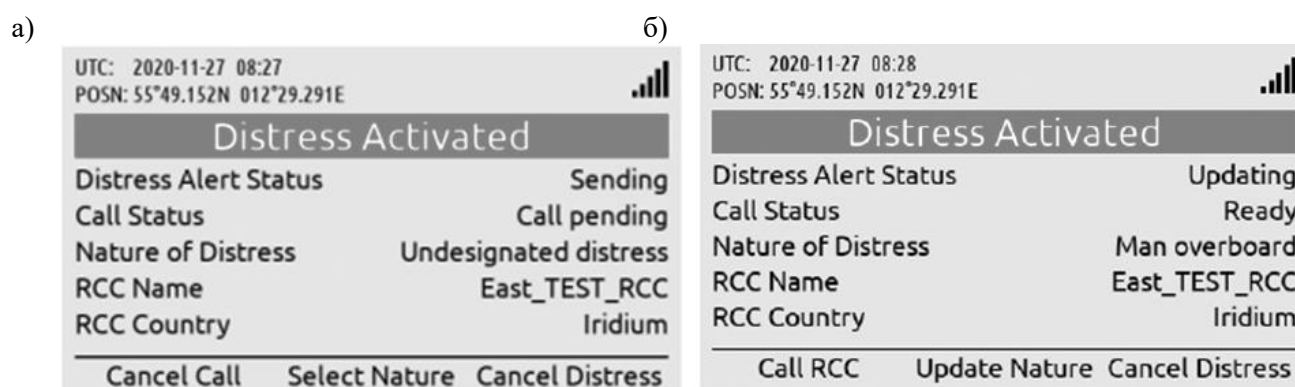


Рисунок 1 – Окна дисплея терминала LT-3100S при подаче оповещения о бедствии с не указанным характером бедствия (а) и обновленного оповещения, указывающего его характер [5]

На первом этапе оповещение судна о своем бедствии, чаще всего, направляется серверу сети ГМССБ системы Иридиум в виде стандартного оповещения Distress Alert с не указанным характером бедствия (см. Рис.1.а), хотя у оператора оборудования есть возможность заранее ввести его в содержание своего первичного оповещения.

Однако оператор может и оперативно ввести (функцией Select Nature) или даже обновить (функцией Update Nature) характер бедствия из стандартного перечня, предлагаемого оборудованием (см. Рис.1.а и Рис.1.б).

Если же оповещение о бедствии оказалось ложным оповещением (передано из-за неосторожных или злонамеренных действий на борту судна), для оператора существует возможность отменить действие такого оповещения, прерывая устанавливаемое сервером телефонное соединение функцией Cancel Call и отменить сделанное ранее оповещение функцией Cancel Distress, не прибегая к общению с персоналом Спасательно-координационного центра (СКЦ).

Судовой терминал системы Иридиум позволяет оператору заранее выбрать один из двух возможных вариантов определения СКЦ (RCC), для его оповещения судном о своем бедствии.

Автоматический выбор RCC происходит, исходя из имеющихся в оборудовании сведений о месте нахождения судна в момент подачи оповещения о бедствии, которые, в принципе, могут быть и ошибочными.

Поэтому оператор имеет возможность выбрать нужный ему RCC вручную из предлагаемого оборудованием их перечня, исходя, например, из реального места нахождения судна или из своих языковых предпочтений для общения с персоналом RCC.

На первом этапе внедрения системы Иридиум в ГМССБ приоритетная связь судна возможна только с шестью RCC, но упомянутое автоматическое оповещение о бедствии и телефонное соединение производится только для двух из них, находящихся в США [6].

В дальнейшем перечень RCC, вызываемых через систему Иридиум, как и перечни иных береговых служб, взаимодействующих с этой системой, намерены расширять по мере их наращивания, причем эти перечни в судовых терминалах системы будут обновляться системным сервером ГМССБ автоматически без участия судовых операторов [5].

Этот сервер позволяет также частично или полностью автоматически обновлять программное обеспечение судовых терминалов LT-3100S по мере его совершенствования.

В сети ГМССБ системы Иридиум все приоритетные телефонные вызовы, помимо вызовов бедствия, которые судно может направлять на RCC (см. Табл.1), отнесены к вызовам для обеспечения безопасности, приоритет которых Urgency или Safety оператор судового терминала этой системы может выбирать, формируя свой вызов.

Помимо телефонных вызовов оператор судового терминала LT-3100S может воспользоваться передачей текстовых сообщений для RCC, указывая системному серверу ГМССБ, в зависимости от необходимой срочности доставки этих сообщений, приоритет Distress, Urgency или Safety (см. Табл.1).

Аналогично обеспечивается приоритет телефонных вызовов или приоритет передачи текстовых сообщений, осуществляемых с берега по инициативе RCC, вызывая при их приеме на судне свою уникальную сигнализацию, генерируемую системой управления оповещением мостика (BAM - Bridge Alarm Management) судового терминала LT-3100S.

Оповещения мостика судна системой BAM включают в себя не только оповещения о приеме приоритетных вызовов или приоритетных текстовых сообщений, но оповещения при проблемах с оборудованием или в системе Иридиум.

Эти оповещения подразделяются на оповещения, требующие от оператора оборудования обязательного ознакомления с причинами, которые их вызвали, или просто указывающие на проблемы, которые оператору необходимо принять во внимание [5].

Телефонные вызовы и передача текстовых сообщений с приоритетом Safety через систему Иридиум могут осуществляться судном не только в адрес RCC, но и в адрес береговых служб, обеспечивающих безопасность на море.

При этом используется традиционный для спутниковых систем ГМССБ способ - набор двузначного кода доступа к соответствующей службе, которой может быть служба медицинских консультаций, служба медицинской помощи, служба помощи в море или служба сбора донесений судов о замеченных ими опасностях в мореплавании.

Представляется заслуживающей интерес организация в системе Иридиум сети информирования по безопасности мореплавания (ИБМ) (см. Табл.1).

По принципам адресации сообщений ИБМ и учету их приоритетов для передачи на суда эта сеть (Iridium SafetyCast) аналогична сети безопасности SafetyNet, которая отработана системой Инмарсат.

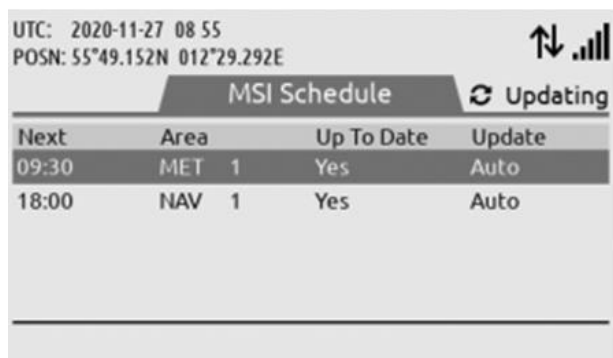
Но в системе Иридиум удалось устранить или смягчить некоторые проблемы, свойственные сети SafetyNet, чтобы без каких либо предварительных настроек судовых терминалов системы Иридиум своевременно и надежно доставлять плановые сообщения ИБМ на заинтересованные суда или даже доставлять внеплановые сообщения персонально (например, сообщения о результатах тестирования терминала [5]).

В частности, судовой терминал LT-3100S этой системы постоянно информирует своего оператора о ближайших плановых сеансах передачи ИБМ и сигнализирует о наличии в его памяти сообщений, которые не были просмотрены оператором, и, что особенно полезно, о сроках действия каждого принятого на судне сообщения ИБМ.

Помимо этого у оператора имеется возможность вручную запросить пропущенное плановое сообщение ИБМ или получить такое сообщение раньше запланированного срока (но не ранее часа с момента передачи последнего планового оповещения аналогичного содержания).

Такие возможности иллюстрирует рисунок 2.

а)



Next	Area	Up To Date	Update
09:30	MET 1	Yes	Auto
18:00	NAV 1	Yes	Auto

б)

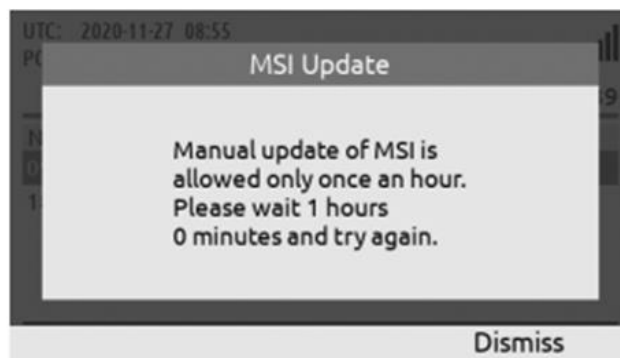


Рисунок 2 – Расписание ближайших передач сообщений ИБМ (а) и сообщение о несвоевременности попытки получить сообщение ИБМ вне расписания (б) [5]

Следует отметить, что, в отличие от упомянутой сети SafetyNet, которая обеспечивает одновременное оповещение всех заинтересованных судов, в аналогичной сети системы Иридиум время приема на каждом таком судне планового сообщения ИБМ различно и может существенно (на десятки минут) отличаться от времени, объявленного в расписании [5].

Помимо сообщений ИБМ для района NAV/MET_AREA (см. Рис. 2), в котором находится судно, судовой терминал системы Иридиум (при его соответствующей настройке) будет принимать и подобные сообщения для аналогичного района смежного с районом размещения судна, если оно приближается к границе этих районов на дистанцию менее 300 морских миль [4,5].

Это касается и приема прибрежных предупреждений (Coastal Warning) для маркированных прибрежных зон в районах NAV/MET_AREA.

На первом этапе внедрения системы Иридиум в ГМССБ к таким зонам, оповещаемым этой системой на коммерческой основе, относятся только прибрежные зоны Австралии и Новой Зеландии [5].

Причем, в число не исключаемых из приема судами прибрежных предупреждений для этих зон, наряду с традиционными не исключаемыми предупреждениями (например, как в системе Навтекс) внесены и метеорологические прогнозы [5].

В судовом терминале LT-3100S предусмотрена ручная установка районов NAV/MET_AREA (не более четырех) и зон Coastal Warning в них (не более пяти) для приема сообщений сети ИБМ, если сообщения, предназначенные для этих районов и зон, представляют интерес для судна, не зависимо от места его нахождения [5].

Для радиоборудования ГМССБ судна особую важность представляет своевременность и надежность снабжения его сведениями о месте нахождения судна, на котором оно установлено.

В ряде случаев автоматическая и достоверная передача данных о позиции судна в это оборудование от судового приемника Глобальной навигационной спутниковой системы может стать невозможной.

В этих случаях упомянутая система ВАМ судового терминала системы Иридиум осуществляет тревожное оповещение персонала мостика судна для устранения, по возможности, возникших проблем или, по крайней мере, для ручной корректировки данных о позиции судна.

При этом степень тревожности генерируемых системой ВАМ исходит из периодов отсутствия поступления этих данных [4,5].

Внимание персонала мостика судна привлекается оповещением об утрате автоматического обновления данных о позиции судна на срок более 10 минут или оповещением о сомнительной позиции судна, если с момента ручного обновления этих данных прошло более 4-х часов.

А тревожное оповещение об их утрате генерируется системой ВАМ, если автоматическое или ручное обновление данных о позиции судна не осуществлялось более 23 часов 59 минут.

Помимо упомянутых в этой статье функций судового терминала LT-3100S, относящихся к его участию в ГМССБ, этот терминал может использоваться также для проведения обычных телефонных переговоров, передачи СМС на телефонный номер абонента или текстов на электронный адрес абонента сети Интернет.

Такие платные услуги предоставляются провайдером согласно SIM-карте, которая используется в судовом терминале системы Иридиум при условии подписки судна у него на эти услуги.

Кроме того, тот же терминал может использоваться для охранного оповещения береговых служб о противоправных действиях в отношении судна через соответствующую систему (СССО – SSAS) или для идентификации и отслеживания судна на больших дистанциях через соответствующую систему (СДИ – LRIT).

Причем, в последнем случае привлекательной для береговых служб является как возможность отслеживания с помощью судового терминала Иридиум судна, находящегося в любом районе Мирового Океана, так и возможность генерации этим терминалом соответствующих судовых донесений о позиции судна не только через заданные интервалы времени, но и через заданные интервалы пройденного им пути.

Для национального одобрения судового терминала LT-3100S для его использования в качестве оборудования ГМССБ проводится его тестирование с целью оценки степени удовлетворения им конвенционных требований ГМССБ с учетом и национальных требований к обеспечению связи в морских районах, имеющих национальный интерес.

В частности, Россия в марте 2021 года провела такие испытания в своих арктических морских областях. Результаты этих испытаний признаны успешными [7].

В то же время производители тренажеров ГМССБ, (например, финская корпорация Wartsila в новой версии своего тренажера TGS6000) уже приступили к разработке соответствующих тренажерных имитаторов [8].

Выводы

1. Использование на судах терминалов спутниковой системы Иридиум в качестве судового оборудования ГМССБ не только расширяет области Мирового Океана, охваченные услугами спутниковой связи, но и совершенствует технологии такой связи, обеспечивающей безопасность мореплавания и охрану человеческой жизни на море.

2. Изучение таких технологий и отработка их использования на тренажерной практике должны своевременно включаться в учебный процесс подготовки судоводителей и морских радио-специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаренко С. И. Описательная модель системы спутниковой связи Iridium // Системы управления, связи и безопасности. - 2018. - № 4. С. 1-34 // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-04/01-Makarenko.pdf> (дата обращения 11.05.2021).

2. Степаненко Д.П. Обзор плана модернизации ГМССБ и его проблем // V Международный морской форум. V международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии»: тезисы докладов. Часть 1. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. С. 37-39.

3. СОЛАС-74 = SOLAS 1974, на английском и русском языках. – СПб.: ЗАО "ЦНИИМФ", 2021. - 1184 с.

4. Iridium GMDSS. Design & Installation Guidelines // Электрон. дан. Режим доступа URL: https://thrane.eu/wp-content/uploads/2020/01/DEV_Iridium_GMDSS_Design_and_Installation_Guidelines_010620.pdf (дата обращения 11.05.2021).

5. LT-3100S. Safety Instructions for the Installer // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://thrane.eu/wp-content/uploads/2020/12/LT-3100S-GMDSS-User-and-Installation-Manual-Rev.-1.03.pdf> (дата обращения 11.05.2021).

6. GMDSS – Launch Iridium Satellite Communication // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://www.iridium.com/gmdss-launch/> (дата обращения 11.05.2021).

7. Систему подвижной спутниковой связи Иридиум успешно протестировали в Арктике // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://goarctic.ru/news/sistemu-podvizhnoy-sputnikovoy-svyazi-iridium-protestirovali-v-arktike/> (дата обращения 01.06.2021).

8. Wartsila (formerly Transas) future developments // AMERC News. Issue 78 – Incorporates Circular 298. January 2021 // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://www.amerc.ac.uk/newsletter.php?action=get&id=592> (дата обращения 01.06.2021).

THE IRIDIUM SYSTEM AND ITS MARINE EQUIPMENT AT GMDSS

Stepanenko Dmitry, cand. tech. sc., assistant professor, assistant professor of the department of SRTS

Baltic fishing state academy FSBEI HE “KSTU”, Kaliningrad, Russia,
e-mail: stepanenko49@yandex.ru

The development of communication technologies in the GMDSS associated with the use of the equipment of the Iridium satellite system on ships is considered by the example of radio communication procedures by its ship terminal LT-3100S.

Attention is focused on the features of the activation of this terminal, the principles of ship distress notification with its help, and the features of receiving maritime safety information (MSI) from the SafetyCast network of this system.

УДК 656.61.087.27

ПОДГОТОВКА УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С УЧЕТОМ НОВЫХ КОНВЕНЦИОННЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО УЧЕБНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ КАФЕДРЫ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

¹Тимофеев Владимир Константинович, д-р воен. наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности мореплавания

² Якута Ирина Владимировна, канд. техн. наук

³ Киценко Василий Никитович, капитан дальнего плавания

ФГБОУ ВО «КГТУ», Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота, Калининград, Россия, e-mail: kaf_bm@bgarf.ru

Процесс освоения конвенционных учебных дисциплин на кафедре безопасности мореплавания БГАРФ длительное время был направлен на привитие обучаемым умений и навыков в объёме функций вахтенного помощника капитана (таблица А-II/1 ПДНВ). С 2020 г. этот процесс расширен до функций капитанов и их старших помощников (таблица А-II/2 ПДНВ). В статье приводится методика подготовки учебно-методической документации преподавателями с учетом расширенных компетенций, на примере отдельных учебных дисциплин кафедры безопасности мореплавания.

Спецификация минимальных стандартов компетентности для вахтенных помощников капитана судов валовой вместимости 500 и более

В таблице 1 приводятся сферы компетентности по функциям: судовождение на уровне эксплуатации и управления операциями судна и забота о людях на судне Конвенции ПДНВ. Эти сферы компетентности формируются при изучении, для примера двух учебных дисциплин кафедры безопасности мореплавания [1].

Учебные дисциплины и отрабатываемые сферы компетентности для вахтенных помощников капитана судна

№ п/п	Название учебных дисциплин	Сферы компетентности (таблица А-II/1 ПДНВ)
1	Морское право и морское рыболовное право	Наблюдением за соблюдением требований законодательства.
2	Теория и устройство судна	Поддержание судна в мореходном состоянии.

В таблице 2 приводятся сферы компетентности по функциям: судовождение на уровне эксплуатации и управления операциями судна и забота о людях на судне для капитанов и их старших помощников Конвенции ПДНВ. Эти сферы компетентности формируются при изучении следующих учебных дисциплин кафедры безопасности мореплавания [1].

Учебные дисциплины и отрабатываемые сферы компетентности для капитанов и старших помощников капитана судна

№ п/п	Название учебных дисциплин	Сферы компетентности (таблица А-II/1 ПДНВ)
1	Морское право и морское рыболовное право	Наблюдение и контроль за выполнением нормативных требований и меры по обеспечению безопасности человеческой жизни на море и охране морской окружающей среды.
2	Теория и устройство судна	Контроль за посадкой, остойчивостью и напряжениями корпуса судна.

Таким образом, перед преподавательским составом стоит задача – подготовить комплект учебно-методической документации, рабочую программу и фонд оценочных средств учебных дисциплин (сферы компетентности, тематический план, список источников, промежуточные и итоговый контроль и др.). Так чтобы с нового учебного года начать реализовывать новые расширенные конвенционные компетенции в соответствии с ПДНВ.

Меры по внедрению новых сфер компетентности в учебный процесс кафедры безопасности мореплавания

Морское право и морское рыболовное право

На основании выше приведенных **сфер** компетенций (см. таблицы 1 и 2 ПДНВ), в «Общей характеристике основной профессиональной образовательной программы высшего образования по специальности 26.05.05 «Судовождение»» приведены профессиональные компетенции (см. таблицу 3) [2]:

ПКР-11.1 Знает меры предосторожности, которые необходимо принимать для предотвращения загрязнения морской среды.

ПКР-11.2 Знает меры по борьбе с загрязнением и все связанное с этим оборудование.

ПКР-11.3 Знает важность предупредительных мер по защите морской среды.

ПКР-24.1 Знает требования международных и локальных нормативно-правовых актов в части обеспечения безопасности ведения промысла, в том числе в группе судов.

ПКР-24.3 Знает важность предупредительных мер по защите морской среды.

ПКР-24.4 Знает меры предосторожности, которые необходимо принимать для предотвращения загрязнения морской среды при ведении промысла.

ПКР-29.1 Знает правила ведения промысловой документации, в том числе промыслового журнала в электронной форме.

ПКР-29.4 Умеет организовать выгрузку рыбопродукции, оформление портовых формальностей, получение свидетельства о свободной практике, предъявление судна сюрвейеру.

ПКР-45.1 Знает основные положения соответствующих конвенций ИМО, касающихся охраны человеческой жизни на море и защиты морской среды.

ПКР-45.2 Знает нормы международного морского права, содержащихся в международных соглашениях и конвенциях.

ПКР-55.3 Применяет общеправовые знания в профессиональной деятельности и общении с экипажем.

ПКР-78.1 Знает виды судовых документов и свидетельств для различных типов судов.

ПКР-78.2 Умеет контролировать действительность всех требуемых по заведованию помощника капитана судовых документов и дипломов.

ПКР-84.1 Знает требования международной конвенции о предупреждении загрязнения морской окружающей среды с судов.

ПКР-84.2 Знает санитарные требования к состоянию и устройству судовых жилых помещений и мест общего пользования.

ПКР-84.3 Умеет организовать проведение судовых учений с учетом требований международных конвенций (по охране человеческой жизни на море, о предупреждении загрязнения морской окружающей среды с судов, о грузовой марке), кодекса управления безопасной эксплуатацией судов, международного авиационного и морского руководства по спасанию на море.

ПКР-84.4 Умеет обеспечить условия труда и отдыха экипажа согласно международным и национальным требованиям.

ПКС-1.1 Знает положения международных и национальных нормативно-правовых актов, касающиеся СКДВП (системы контроля дееспособности вахтенного помощника капитана).

ПКС-2.1 Знает общие принципы расследования морских аварий и инцидентов.

КК-17 – Способность осуществлять наблюдение за соблюдением требований законодательства, касающихся охраны человеческой жизни на море и защиты морской среды.

КК-18 – Способность применять навыки руководителя и уметь работать в команде.

Таблица 3

Компетенции по дисциплине Морское право и морское рыболовное право в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы высшего образования по специальности 26.05.05 «Судовождение»

	Обозначение компетенций	Объединенная формулировка компетенций и вид занятий, на которых они отрабатываются
1	2	3
1.	ПКР-11.1, ПКР-11.2, ПКР-11.3	Знает меры важность мер для предотвращения загрязнения морской среды и имеемое для этого оборудование. Лекции, ПЗ, Производственные плавательные практики
2.	ПКР-24.1, ПКР-24.3, ПКР-24.4	Знает требования к обеспечению безопасности ведения промысла и мер по защите морской среды. Лекции, ПЗ
3.	ПКР-29.1, ПКР-29.4	Знает правила ведения промысловой документации, в том числе промыслового журнала в электронной форме. Умеет организовать выгрузку рыбопродукции, оформление портовых формальностей, получение свидетельства о свободной практике, предъявление судна сюрвейеру. Лекции, ПЗ, Производственные плавательные практики
4	ПКР-45.1, ПКР-45.2	Знает основные содержание конвенций ИМО и положений, касающихся охраны человеческой жизни на море и защиты морской среды. Лекции, ПЗ
5	ПКР-55.3	Применяет общеправовые знания в профессиональной деятельности и общении с экипажем. Лекции, ПЗ, Производственные плавательные практики
6	ПКР-78.1, ПКР-78.2	Знает виды судовых документов и свидетельств для различных типов судов и умеет контролировать их наличие на судне. Лекции, ПЗ, Производственные плавательные практики
7	ПКР-84.1, ПКР-84.2, ПКР-84.3, ПКР-84.4	Знает требования МАРПОЛ о предупреждении загрязнения морской окружающей среды с судов и санитарные требования к состоянию и устройству судовых жилых помещений и мест общего пользования Умеет организовать проведение судовых учений с учетом требований международных конвенций (СОЛАС, МАРПОЛ, о грузовой марке), МКУБ, международного авиационного и морского руководства по спасанию на море и обеспечить условия труда и отдыха экипажа согласно международным и национальным требованиям Лекции, ПЗ, Производственные плавательные практики

8	ПКС-1.1, ПКС-2.1	Знает положения международных и национальных нормативно-правовых актов, касающиеся СКДВП (системы контроля дееспособности вахтенного помощника капитана) и общие принципы расследования морских аварий и инцидентов. Лекции, ПЗ, Производственные плавательные практики
9	КК-17 КК-18	Способность осуществлять наблюдение за соблюдением требований законодательства, касающихся охраны человеческой жизни на море и защиты морской среды и способность при-менять навыки руководителя и уметь работать в команде. Лекции, ПЗ, Производственные плавательные практики

Исходя из вышеизложенного, тематический план по дисциплине морское право и морское рыболовное право будет иметь следующий вид (см. рисунок 1) [3,4].

Наименования разделов, тем лекций и практических занятий	Количество часов по формам обучения Лекций/ПЗ		Формируемые конвенционные компетенции
	очная	заочная	
1	2	3	4
Раздел 1. Международное морское право	4/8	2/2	КК-17, КК-18
Лекция 1.1. Вводная. Конвенция ООН по морскому праву 1982г.	2/4	1/1	ПКР-45.1, ПКР-45.2
ПЗ-1.1. Конвенция ООН по морскому праву, основное содержание.	-/2	-/0,5	ПКР-45.1, ПКР-45.2
ПЗ-1.2. Конвенция МАРПОЛ основное содержание.	-/2	-/0,5	ПКР-11.1, ПКР-11.2, ПКР-11.3
Лекция 1.2. Основные Международные конвенции.	2/4	1/1	ПКР-45.1, ПКР-45.2
ПЗ-1.3. Основное содержание Международной конвенции СОЛАС.	-/2	-/0,5	ПКР-45.1, ПКР-45.2
ПЗ-1.4. Основное содержание Международных конвенций МАРПОЛ и ПДНВ.	-/2	-/0,5	ПКР-84.1, ПКР-84.2, ПКР-84.3, ПКР-84.4
Раздел 2. Кодекс торгового мореплавания Российской Федерации.	6/12	4/4	КК-17, КК-18
Лекция 2.1. Государственное управление и надзор в области торгового мореплавания. Статус морского судна и его экипажа.	2/4	1/1	КК-17, КК-18
ПЗ-2.1. Кодекс торгового мореплавания, Главы I, III, V.	-/2	-/0,5	ПКР-78.1, ПКР-78.2
ПЗ-2.2. Кодекс торгового мореплавания, Главы II, IV, VI, VII.	-/2	-/0,5	ПКР-55.3, ПКС-1.1, ПКС-2.1
Лекция 2.2. Договорные отношения в торговом мореплавании.	2/4	2/2	КК-17, КК-18
ПЗ-2.3. Кодекс торгового мореплавания, Главы VIII, IX.	-/2	-/1	КК-17, КК-18
ПЗ-2.4. Кодекс торгового мореплавания, Главы X – XV.	-/2	-/1	КК-17, КК-18
Лекция 2.3. Разрешение имущественных вопросов в торговом мореплавании.	2/4	1/1	КК-17, КК-18
ПЗ-2.5. Кодекс торгового мореплавания, Главы XVI – XXI.	-/2	-/0,5	КК-17, КК-18
ПЗ-2.6. Кодекс торгового мореплавания, Главы XXII – XV.	-/2	-/0,5	КК-17, КК-18
1	2	3	4
Раздел 3. Морское рыболовное право.	5/10	2/2	КК-17, КК-18
Лекция 3.1. Международные конвенции в области рыболовства.	2/4	1/1	КК-17, КК-18
ПЗ-3.1. Конвенция ООН по Морскому праву Часть VII, Раздел 2.	-/2	-/0,5	ПКР-45.1, ПКР-45.2

ПЗ-3.2. Кодекс ведения ответственного рыболовства 1995 г.	-/2	-/-	ПКР-45.1, ПКР-45.2
Лекция 3.2. Правила рыболовства в Российской Федерации.	2/6	1/1	КК-17, КК-18
ПЗ-3.3. Основные положения ФЗ РФ от 20.12.2004 N 166-ФЗ «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов».	-/2	-/0,5	ПКР-24.1, ПКР-24.3, ПКР-24.4
ПЗ-3.4. Правила рыболовства для Западного рыбохозяйственного бассейна РФ	-/2	-/-	ПКР-29.1, ПКР-29.4
ПЗ-3.5. Правила ведения промыслового журнала и правила составления суточных судовых донесений с промысла.	-/2	-/-	ПКР-29.1, ПКР-29.4
Лекция 3.3. Заключительная лекция.	1	-	КК-17, КК-18
Всего:	15/30	8/8	

Рис. 1. Вид тематического плана дисциплины морское право и рыболовное право с учетом отрабатываемых компетенций

Теория и устройство судна

На основании выше приведенных **сфер** компетенций (см. таблицы 1 и 2 ПДНВ), в «Общей характеристике основной профессиональной образовательной программы высшего образования по специальности 26.05.05 «Судовождение»» приведены профессиональные компетенции (см. таблицу 4) [2]:

УК-2.1 Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность задач, обеспечивающих ее достижение.

УК-2.2 Выбирает оптимальный способ решения задач, учитывая действующие правовые нормы и известные условия, ресурсы и ограничения.

УК-2.3 Публично представляет результаты решения конкретной задачи проекта.

ПКР-14.1 Знает основные принципы устройства судна, теорию и факторы, влияющие на посадку и остойчивость, а также меры, необходимые для обеспечения безопасной посадки и остойчивости.

ПКР-14.2 Знает влияние повреждения и последующего затопления какого-либо отсека на посадку и остойчивость судна, а также контрмер, подлежащих принятию.

ПКР-14.3 Знает рекомендации ИМО, касающиеся остойчивости судна.

ПКР-74.1 Знает и умеет объяснить, где искать наиболее часто встречающиеся повреждения и дефекты, возникающие в результате: погрузочно-разгрузочных операций, коррозии и тяжелых погодных условий.

ПКР-74.3 Умеет выявлять элементы конструкции судна, которые имеют решающее значение для его безопасности.

ПКР-74.6 Умеет объяснить, как обеспечить надежное обнаружение дефектов и повреждений.

ПКР-75.1 Знает ограничения с точки зрения прочности важнейших конструктивных элементов стандартного навалочного судна.

ПКР-75.2 Умеет толковать полученные значения изгибающих моментов и перерезывающих сил.

ПКР-75.3 Умеет объяснить, как избежать вредного влияния, которое оказывают на навалочные суда коррозия, усталость и неправильная обработка груза.

ПКР-77.1 Знает и умеет применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе.

ПКР-77.2 Знает основные действия, которые должны предприниматься в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии.

ПКР-77.3 Знает основы водонепроницаемости судна.

ПКР-77.4 Знает основные конструктивные элементы судна и правильные названия их различных частей.

Компетенции по дисциплине Теория и устройство судна в общей характеристике основной профессиональной образовательной программы высшего образования по специальности 26.05.05 «Судовождение»

	Обозначение компетенций	Объединенная формулировка компетенций и вид занятий, на которых они отрабатываются
1.	УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3	Способен управлять проектом на всех этапах жизненного цикла Лекции, ЛР, Производственные плавательные практики
2.	ПКР-14.1, ПКР-14.2, ПКР-14.3	Способен обеспечить контроль за посадкой, остойчивостью и напряжениями в корпусе Лекции, ЛР, Производственные плавательные практики
3.	ПКР-74.1, ПКР-74.3, ПКР-74.6.	Способен обеспечить проверку и подготовку сообщения о дефектах и повреждениях в грузовых помещениях, на крышках люков и в балластных танках Лекции, ЛР, Производственные плавательные практики
4	ПКР-75.1, ПКР-75.2, ПКР-75.3	Способен провести оценку обнаруженных дефектов и повреждений в грузовых помещениях, на крышках люков и в балластных танках и принять соответствующие меры Лекции, ЛР, Производственные плавательные практики
5	ПКР-77.1, ПКР-77.2, ПКР-77.3, ПКР-77.4	Способен обеспечить поддержание судна в мореходном состоянии Лекции, ЛР, Производственные плавательные практики

Исходя из вышеизложенного, тематический план по дисциплине морское право и морское рыболовное право будет иметь следующий вид (см. рисунок 2) [5,6].

Наименования тем лекций и разделов	Количество часов по формам обучения Лекций/ЛЗ		Формируемые компетенции
	очная	заочная	
1	2	3	4
<i>Раздел 1.</i> Классификация морских судов, основные технико-эксплуатационные характеристики морских судов.	3,0/4,0	1,0/-	УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3
<i>Раздел 2.</i> Архитектурно-конструктивные типы судов и геометрия корпуса судна.	4,0/3,0	1,0/-	ПКР-14.1, ПКР-74.1, ПКР-74.3, ПКР-74.6, ПКР-77.4
<i>Раздел 3.</i> Конструкция корпуса судна.	4,0/4,0	2,0/2,0	ПКР-14.1, ПКР-74.1, ПКР-74.3, ПКР-74.6, ПКР-77.4
<i>Раздел 4.</i> Судовые устройства.	4,0/4,0	1,0/2,0	ПКР-14.1, ПКР-74.1, ПКР-74.3, ПКР-74.6, ПКР-74.1, ПКР-74.3, ПКР-74.6
<i>Раздел 5.</i> Судовые системы.	2,0/2,0	1,0/-	ПКР-74.1, ПКР-74.3, ПКР-74.6, ПКР-74.1, ПКР-74.3, ПКР-74.6
<i>Раздел 6.</i> Классы судов Регистра. Главные размеры судна.	5/2	1/-	ПКР-77.1, ПКР-77.2, ПКР-77.3, ПКР-77.4
<i>Раздел 7.</i> Плавучесть судна	8/4	2/2	ПКР-14.1, ПКР-14.2, ПКР-77.2
<i>Раздел 8.</i> Остойчивость судна	14/28	4/12	ПКР-14.1, ПКР-14.2, ПКР-14.3, ПКР-77.1
<i>Раздел 9.</i> Непотопляемость судна	4/6	1/2	ПКР-14.1, ПКР-14.2, ПКР-77.2, ПКР-77.3, ПКР-77.4
<i>Раздел 10.</i> Общая продольная прочность	4/4	1/-	ПКР-77.1, ПКР-75.1, ПКР-75.2, ПКР-75.3
<i>Раздел 11.</i> Управляемость и умеренность качки судна	6/2	1/-	УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3
<i>Раздел 12.</i> Соппротивление среды движению судна	8/2	1/-	УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3

Раздел 13. Судовые движители	8/4	1/-	УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3
Заключительная лекция	1/-	-	УК-2.1, УК-2.2, УК-2.3
Всего:	75/69	12/16	

Рис.2. Вид тематического плана дисциплины теория и устройство судна с учетом обрабатываемых компетенций

Таким образом, для подготовки курсантов по конвенционным дисциплинам учебной программы нового стандарта 3++ в первую очередь необходимо подготовить рабочие программы отвечающие сферам компетентности Конвенции ПДНВ и новым компетенциям изложенным в «Общей характеристике основной профессиональной образовательной программы высшего образования по специальности 26.05.05 «Судовождение»». Алгоритм действий по подготовке всего комплекта учебно-методической документации по учебной дисциплине представлен на рисунке 2.

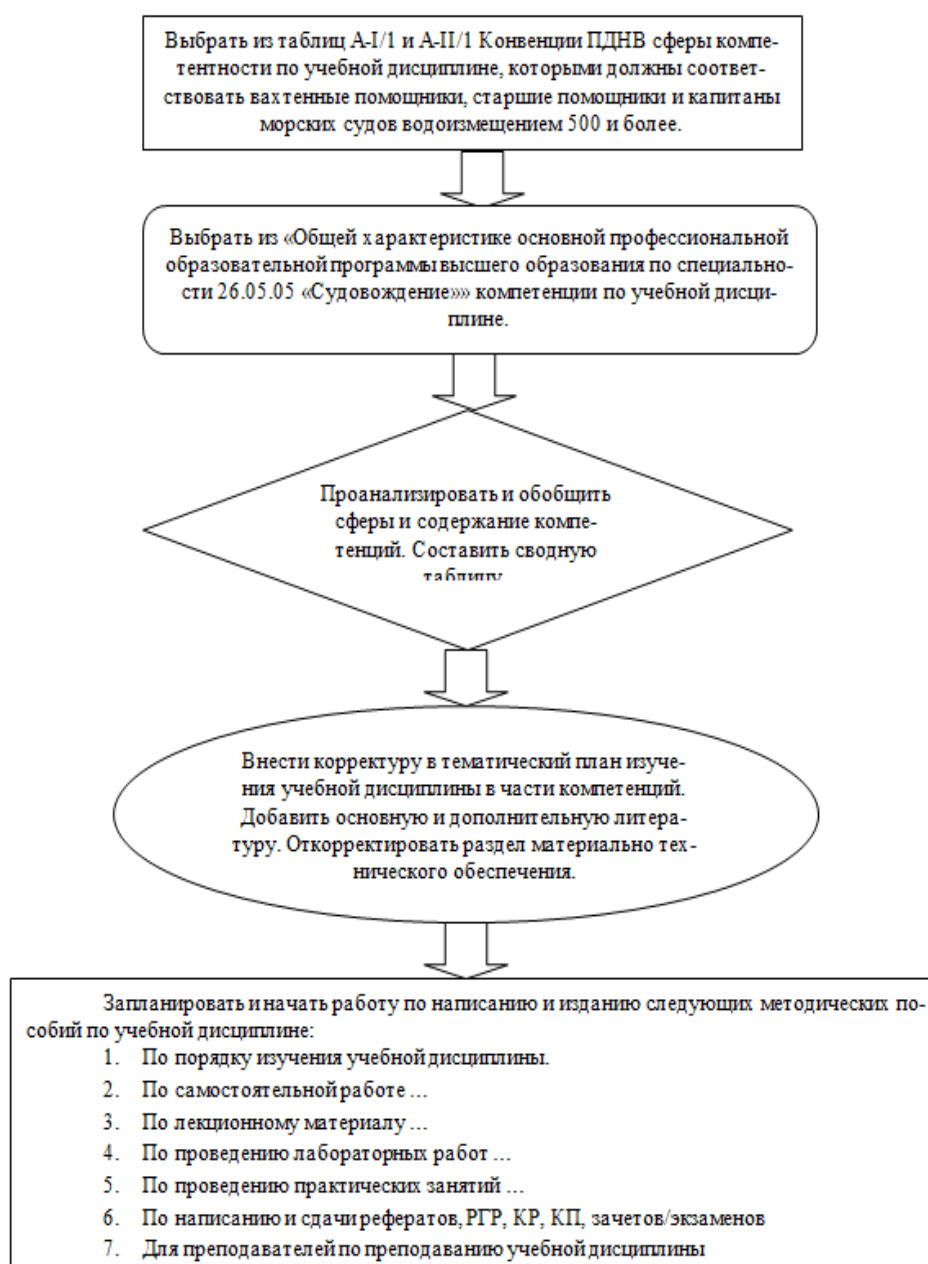


Рис.3. Алгоритм действий по подготовке учебной дисциплины к новым конвенционным компетенциям

Заклучение

Приведенный алгоритм позволит преподавательскому составу составить и разработать актуальную и единообразную по форме учебно-методическую документацию по закреплённым учебным дисциплинам с учётом расширенных конвенционных компетенций.

Список источников

1. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (ПДНВ). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/2540787/>
2. Общая характеристика основной профессиональной образовательной программы высшего образования специалитета по специальности 26.05.05 – Судовождение (Специализация «Промысловое судовождение»). ФГБОУ ВО «КГТУ». – Калининград, 2019. – 80 с.
3. Тимофеев В.К. К проблеме формирования инженерных компетенций при изучении учебной дисциплины «Морское право»/В.К. Тимофеев// Известия Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота: психолого-педагогические науки. – выпуск 4 (42). – 2017.
4. Тимофеев В.К. Морское право и морское рыболовное право: учебно-методическое пособие/В.К. Тимофеев. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2021. – 45 с.
5. Бугакова Н.Ю., Якута И.В. Теория и устройство судна. Раздел «Устройство судна». [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины, задания и рекомендации по выполнению контрольных работ. – Учебное пособие. – Калининград: БГАРФ, 2017. Режим доступа: <http://bgarf.ru/academv/biblioteka/elektronni-kataiog/>
6. Якута И.В. Теория и устройство судна. Раздел «Теория судна». Часть 2: учебное пособие в 2-х частях по самостоятельному изучению дисциплины «Теория и устройство судна» для студентов специальности 26.05.05 «Судовождение». – Калининград: Издательство БГАРФ, 2020.

PREPARATION OF EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL DOCUMENTATION TAKING INTO ACCOUNT THE NEW CONVENTIONAL COMPETENCIES IN THE ACADEMIC DISCIPLINES OF THE DEPARTMENT OF MARITIME SAFETY

¹Timofeev V.K., Dr. (Militari)

²Yakuta I.V., Ph.D. (Tech)

³Kitsenko V.N., master

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university",
Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU",
e-mail: kaf_bm@bgarf.ru

The process of mastering conventional academic disciplines at the Department of Maritime Safety of the BGARF for a long time was aimed at instilling in students the skills and abilities in the scope of the functions of the watch assistant to the captain (Table A-II/1 of the STCW). As of 2020, this process has been expanded to include the functions of captains and their senior assistants (Table A-II/2 of the PNV). The article presents a methodology for the preparation of educational and methodological documentation by teachers, taking into account expanded competencies, using the example of individual academic disciplines of the Department of Maritime Safety.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА НА ПРИМЕРЕ ул. ИНЖЕНЕРНОЙ г. КАЛИНИНГРАДА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Щеглов Валерий Александрович, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры
Автомобильный транспорт и сервис автомобилей

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: shceglov@rambler.ru

Рассмотрены параметры транспортного потока города Калининграда, проанализирован существующий опыт внедрения адаптивного регулирования транспортного потока, рассмотрены вопросы отбора информативных параметров, характеризующих транспортный поток, и на этой основе изучена возможность построения алгоритмов управления транспортными потоками. Новизна заключается в обобщении указанной информации для условий Калининграда и определении наиболее информативных параметров транспортного потока.

Введение

Целью исследования является разработка алгоритма управления светофорным комплексом транспортно-связанного района города.

Задачи, решение которых позволит добиться указанной цели:

- выявление на основе проведенных исследований движения автомобильного транспорта наиболее информативных параметров транспортных потоков;
- отбор параметров транспортного потока.

Город Калининград исторически сформирован по радиально-концентрической схеме, в основном имеет узкие улицы, в городе отсутствует внутреннее транспортное кольцо. Все это создает предпосылки исчерпания резервов по улучшению транспортной ситуации.

Неиспользованным резервом является организация и управление движением автомобилей в городе. Одним из долгосрочных приоритетов управления транспортными потоками является исключение возможности образования транспортных заторов на перекрестках.

Международный и отечественный опыт внедрения ИТС

Международный инновационный форум пассажирского транспорта SmartTRANSPORT2017 (Санкт-Петербург) обратил внимание на важность организации транспортных потоков в больших городах России путем оснащения улиц современными *интеллектуальными транспортными системами* (ИТС).

В развитых странах накоплен существенный опыт организации транспортного движения и управления транспортом на перекрестках. Ведущими странами в этом направлении являются США, Германия, Австралия и ряд других стран Европы.

В Своде правил СП 42.13330-2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений» [1] характеристики транспортного потока не нормируются и какие-либо нормативные требования к ним отсутствуют. Вместе с тем, в нормах зарубежных стран эти характеристики являются основными для определения основных параметров проектирования автомобильной дороги.

В нормах зарубежных стран состояние транспортного потока характеризуется рядом показателей, часть из которых используется при проектировании дорог. Наиболее часто используются характеристики: скорость движения, плотность потока, интервалы между автомобилями.

В руководящем документе США по оценке пропускной способности дорог HCM 2000 [2] приведена методика оценки пропускной способности и оценки величин задержек транспортных средств. В основе алгоритмов, изложенных в американском руководстве, для оценки эффективности функционирования регулируемых пересечений приняты такие параметры, как средняя величина транспортной задержки, длина очереди транспортных средств, уровень загрузки перегона, установлена корреляционная зависимость между указанными параметрами.

В ФРГ в рекомендациях Правительствам стран участниц ЕЭК ООН в соответствии с установленной функциональной классификации дорог содержатся требования по уровням обслуживания транспортных потоков на дорогах (А, В, С, D, E, F) и основными оценочными параметрами являются скорости и плотность транспортного потока.

Системы управления транспортными потоками, принятые в США и странах ЕС, мало различаются и в современных условиях рассматриваются как мировая норма. Разработанные в этих странах алгоритмы управления транспортными потоками базируются на вышеуказанных параметрах, принятых в научных разработках 80-х годов, и не отвечают, по мнению многих специалистов в сфере дорожной логистики, современным требованиям. По подобным алгоритмам формируется система Старт, используемая в городе Москве, и ряде других российских городов. В СП 42.13330-2016 [2] параметры, на основе которых могут быть сформированы алгоритмы управления транспортными потоками, отсутствуют.

Таким образом, для успешного решения задач развития интеллектуальных транспортных систем (ИТС), поставленных Правительством РФ в Постановлении Правительства РФ от 16.11.2018 г. № 1379 [3], необходимы исследования, позволяющие на современной базе знаний отобрать наиболее информативные параметры транспортного потока, что позволит разработать алгоритмы управления этими потоками. Главной целью внедрения этих алгоритмов необходимо поставить улучшение движения транспортных средств общего пользования, как основного градообразующего процесса.

Исследование транспортных потоков на улице Инженерной г. Калининграда

Основными задачами исследования поставлены измерения в час пик интенсивности транспортного потока (N), пропускной способности проезжей части (P), плотности (p) и скорости потока (V), уровня загрузки улицы (Z) улицы Инженерной (рис.1).

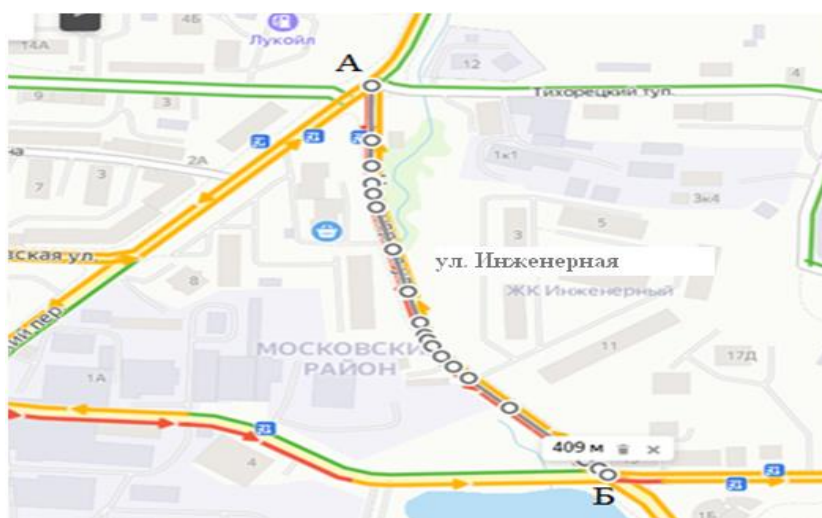


Рис. 1. Схема исследуемого участка

В процессе экспериментальной части работы, исследователи занимали два пункта наблюдения: пункт А располагающийся на перекрестке улицы Инженерной с улицей Киевской и пункт Б – располагающийся на перекрестке улицы Инженерной и улицы Судостроительной. Исследование проводилось по методике, изложенной в Приказе Министерства транспорта РФ №114 от 11.04.2019 г. [4].

Суть эксперимента состояла в том, что стоящий в пункте А выбирает примечательную машину из потока, движущегося на исследуемую улицу и сообщает ее основные черты (т.е. гос.номер и цвет) стоящему в пункте Б. Как только машина проезжает мимо первого, стоящего в пункте А, стоящий в пункте Б, включает отсчет времени и параллельно начинает считать автомобили, проезжающие мимо него, ровно до того момента, как до него доезжает выбранный ранее автомобиль. Результаты замеров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений

Время замера	Количество проехавших машин $n_{\text{авт}}$	Время, затраченное автомобилем на весь путь t
16:20	25	2мин. 31с.
16:50	29	3мин. 29с.
17:20	34	4мин. 23с.
17:50	40	4мин. 25с.
18:20	41	4мин. 59с.
18:40	43	4мин. 12с.

После проведения первичных замеров рассчитаны скорость движения автомобилей V по зависимости (1), плотность потока p по зависимости (2), интенсивность потока N по зависимости (3).

$$V = \frac{S}{t}, \quad (1)$$

где S – длина участка ул.Инженерной; t - время, затраченное автомобилем на весь путь.

$$p = \frac{n_{\text{авт}}}{S}, \quad (2)$$

где $n_{\text{авт}}$ – количество проехавших машин.

$$N = V * p, \quad (3)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов

Время за-мера	Время, ч	Пройденное рас-стояние, км	Скорость, км/ч	Интенсивность, авт/ч	Плотность, авт/км
16:20	0,042	0,409	9,74	595	45,12
16:50	0,058	0,409	7,05	500	53,2
17:20	0,073	0,409	5,60	410	61,35
17:50	0,074	0,409	5,53	410	71,35
18:20	0,083	0,409	4,93	424	73,79
18:40	0,070	0,409	5,84	414	76,9

Представим результаты расчетов в графическом виде.

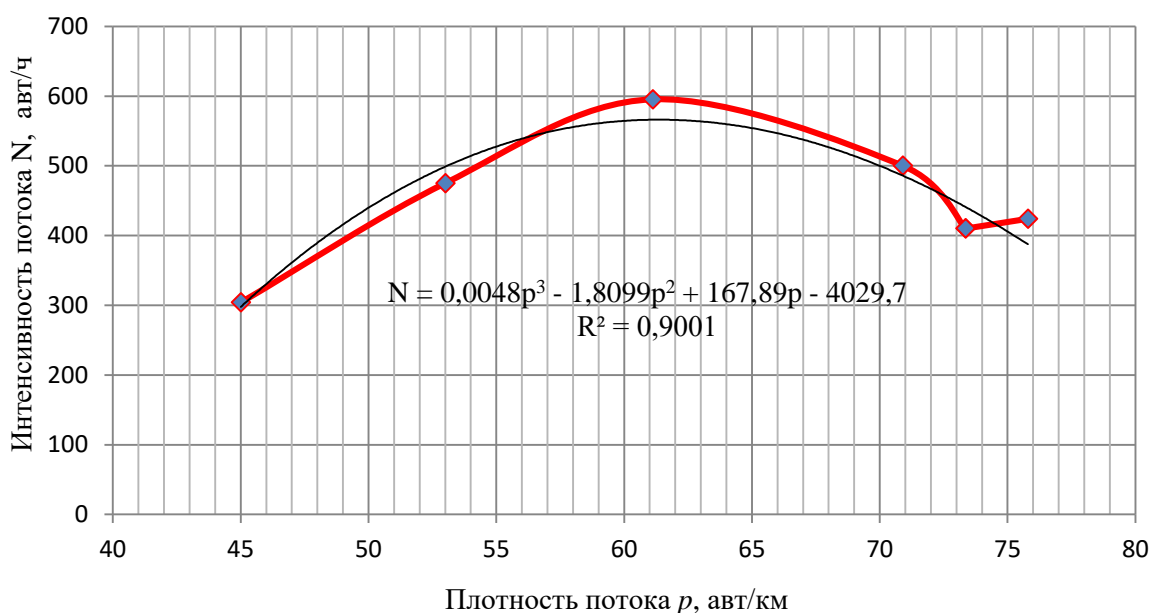


Рис.2. Графическая интерпретация изменения интенсивности движения потока

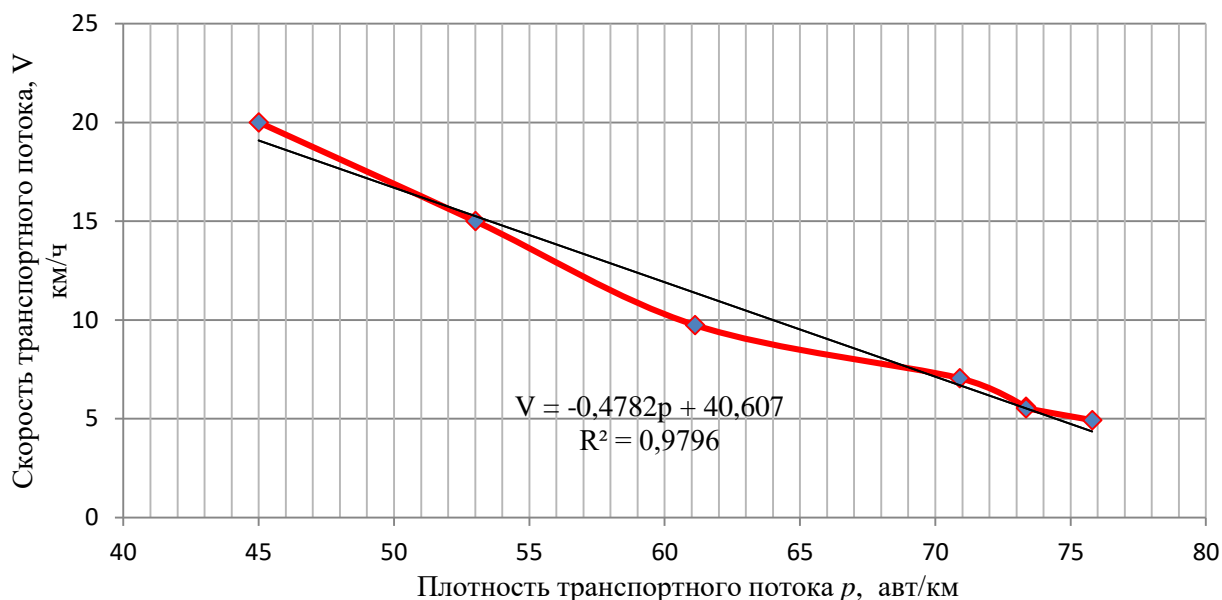


Рис.3. Графическая интерпретация изменения скорости движения потока

Выводы:

На изучаемом участке дороги наблюдается затрудненное движение, постепенно переходящее в затор. Пиковое время затора – 18:20. Минимальная наблюдаемая скорость автомобилей равна 4,93 км/ч, плотность автомобилей в потоке при этом составляла 75,79 авт/км, а интенсивность – 424 авт/ч.

При зарождении и развитии затора, скорость транспортных средств постепенно снижается, а плотность – растет (рис.3). Однако ни первый, ни второй фактор не указывают с какого момента необходимо начинать изменения в светофорном регулировании. Интенсивность N (рис.2), имея перегиб в точке достижения максимума пропускной способности участка, в данном случае является наиболее характерным показателем, на который следует опираться при светофорном регулировании перекрестков. Начинать регулирование светофорными циклами необходимо заранее, с того момента, как только будет обнаружен устойчивый рост плотности транспортного потока.

Исследование информативности параметров транспортного потока

В данном исследовании были рассмотрены три основных параметра движения автомобилей: скорость, плотность и интенсивность. Проведен многофакторный числовой эксперимент.

В качестве рассматриваемых факторов выбраны: интенсивность транспортного потока N , скорость движения V , и плотность потока ρ .

Факторы второго эшелона: состав транспортного потока, погодные условия, время года, мало влияющие на исследуемую функцию, отсечены. Это позволило существенно сократить число опытов и общую трудоемкость эксперимента.

В качестве отклика изучаемого транспортного потока установлено начало возникновения транспортного затора (при скорости движения от 15 км/ч и ниже). Важно не пропустить начало возникновения и развития заторовой ситуации, это позволит своевременно посредством светофорного регулирования сдерживать его развитие и углубление. Из практики известно, что чем плотнее автомобильный затор, тем сложнее становится его ликвидировать.

На рис.2 видно, что график интенсивности движения потока имеет перегиб. В высшей точке перегиба интенсивность N равна максимальной пропускной способности изучаемого перекрестка. Дальнейшее уплотнение транспортного потока приводит к критическому снижению интенсивности потока за счет снижения скорости движения. Разделим график на две части: до максимума и после него. Можно сделать вывод, что в первой части графика мы видим зарождение автомобильного затора, и здесь светофорное регулирование может эффективно сдерживать негативное развитие, что поможет не допустить дальнейшего уплотнения затора и снижения скорости потока. И чем раньше начнется такое регулирование, тем лучше.

Во второй части графика видно резкое снижение интенсивности движения, уплотнение затора, а по рис.3 – и падение скорости. В этот период светофорное регулирование менее эффективно.

Можно сделать вывод о том, что интенсивность транспортного потока N является самым информативным фактором, позволяя своевременно определить момент начала светофорного регулирования. Скорость движения V и плотность потока ρ не дают такой информации.

Для определения количественных показателей информативности факторов проведена количественная оценка значимости факторов путем выполнения расчетов по методике многофакторного эксперимента.

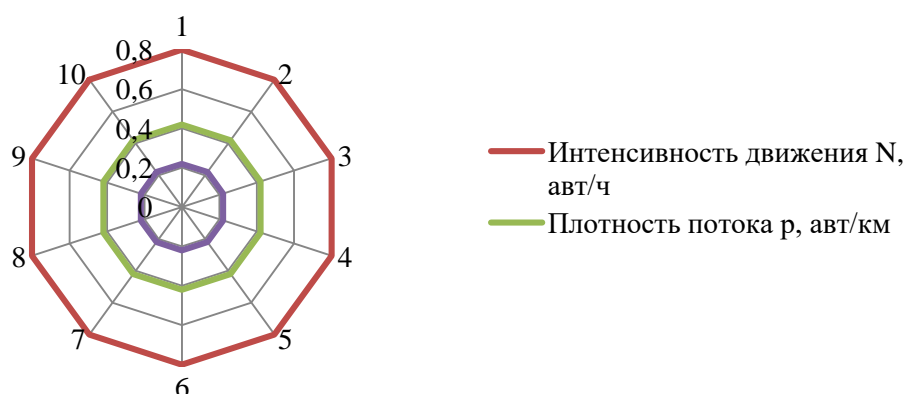


Рис. 4. Оценка информативности факторов

Заключение

Адаптивное регулирование движения транспорта на перекрестках с автоматическим мониторингом характеристик транспортных потоков и последующим расчетом управляющих параметров светофорной сигнализации можно считать наиболее эффективным методом управления транспортными потоками.

Основным способом реализации этого метода является недопущение уплотнения транспортного потока. Достигается это путем растягивания уплотненного участка транспортного потока в пространстве совместным действием нескольких светофорных объектов.

Задачи дальнейших исследований:

- построение математической модели светофорного регулирования на основе фундаментальной формулы $\rho \cdot V = N$;
- создание алгоритмов, которые позволят управлять светофорами и исключить зарождение заторовых ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свод правил СП 42.13330-2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений». – М.: Госстрой России, 2016. – 76 с.
2. Webster, F.V. Traffic Signal Settings, Road Research // Technical Paper. No. 39. London, Her Majesty's Stationery, 2011. – 12 p.
3. Постановление Правительства РФ от 16.11.2018 г. № 1379 «Об утверждении правил определения основных параметров дорожного движения». Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru) 21 ноября 2018 г., в Собрании законодательства Российской Федерации от 26 ноября 2018 г. N 48 ст. 7420. – 6 с.
4. Приказ Министерства транспорта РФ №114 от 11.04.2019 г. «Об утверждении порядка мониторинга дорожного движения». Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 18.06.2019, N 0001201906180043. – 25 с.

STUDY OF TRAFFIC FLOW PARAMETERS ON THE EXAMPLE OF INZHENERNAYA STREET IN KALININGRAD FOR THE IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE REGULATION OF CAR TRAFFIC

Shcheglov Valery Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Automotive Engineering and Car Service.

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,
e-mail: shcheglov@rambler.ru

The article considers the parameters of the traffic flow of the city of Kaliningrad, analyzes the existing experience of implementing adaptive traffic flow regulation, considers the selection of informative parameters that characterize the traffic flow, and on this basis, the possibility of constructing traffic flow control algorithms is studied. The novelty lies in the generalization of this information for the conditions of Kaliningrad and the determination of the most informative parameters of the transport flow.

СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ПОСТРОЙКИ И РЕМОНТА СУДОВ»

SECTION "INOVATIVE METHODS IN SHIP DESIGN, CONSTRUCTION AND REPAIR"

УДК 621.822.6

ЭТАПЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ОЦЕНОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ ВИБРОДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

¹ Базаров Денис Анатольевич, ассистент кафедры прикладной математики и информационных технологий

² Тристанов Александр Борисович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой прикладной математики и информационных технологий

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹ denis.bazarov@klgtu.ru; ² alexander.tristanov@klgtu.ru

В работе представлена структура подшипников качения и виды дефектов, которые возникают на каждом элементе этой структуры. Описаны этапы технического состояния подшипника с указанием методов и способов обнаружения дефектов на каждом из этапов. Представлена сравнительная характеристика классических способов обнаружения дефектов в подшипнике и указаны основные их недостатки. Перечислены современные методики вибродиагностики с указанием сложности их применения. Сделаны выводы о применимости описанных методов для вибродиагностики.

Введение

Большинство механизмов и машин, используемых в быту или на предприятиях, в настоящее время, практически немислимы без использования подшипников качения. Подшипник качения, по своей структуре, имеет более сложную конструкцию в отличие от подшипников скольжения и является цельным изделием, устанавливаемым в механизм или машину. Так как подшипник – это цельная конструкция, которую невозможно разобрать и починить, то решающим показателем эффективности работы является стадия разрушения (т.е. сколько еще он сможет функционировать). Подшипники качения состоят из нескольких элементов: двух колец (внешнего и внутреннего), тел качения (благодаря чему подшипник может вращаться) и сепаратора (разделитель между телами качения). Структура подшипника представлена на рисунке 1 [7, 8]. Выход из строя или деформация одного из элементов подшипника может оказать существенное влияние на работу того или иного оборудования вплоть до его аварийного состояния, поэтому важно заблаговременно выявлять и устранять дефекты, влекущие в последствии снижение качества работы механизмов [13].

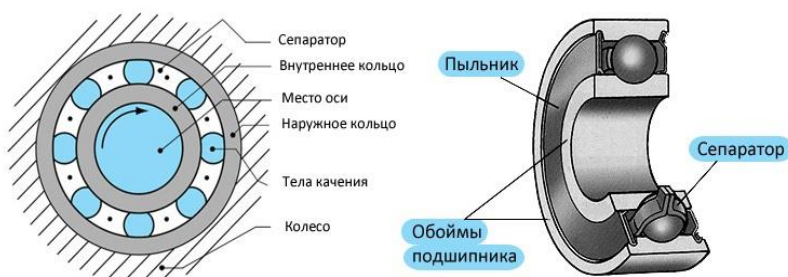


Рис.1. Структура подшипника

Этапы развития дефектов в подшипнике

Жизненный цикл подшипника можно представить в виде графика зависимости, где вертикальная ось отражает величину виброскорости от уровня вибрации, а горизонтальная ось представлена временной линией (рисунок 2) [14]. Этапами технического состояния подшипника принято считать границы между двумя временными отрезками, на которых происходят значительные изменения величины уровня. На графике нижняя линия отображает значение фонового уровня вибрации в размерности среднеквадратичного значения (СКЗ) виброскорости, а верхняя линия отображает усредненную амплитуду ударных импульсов (Пик).

Зона «1-2». Начиная с границы «1» и заканчивая «2», начинают проявляться зарождающиеся дефекты, выраженные в виде ударных вибрационных импульсов, с амплитудой быстро растущей по величине.

Зона «2-3». С самого начала и до границы «3» происходит увеличение амплитуды колебаний практически до максимального значения за счет сильных ударных импульсов. Здесь происходит образование «средних дефектов».

Зона «3-4». Представлена зоной перехода состояния подшипника от сильного износа до непоправимых последствий.

Зона «4-5». Последний и конечный этап развития дефекта, который указывает на полный износ подшипника и необходимости его замены.

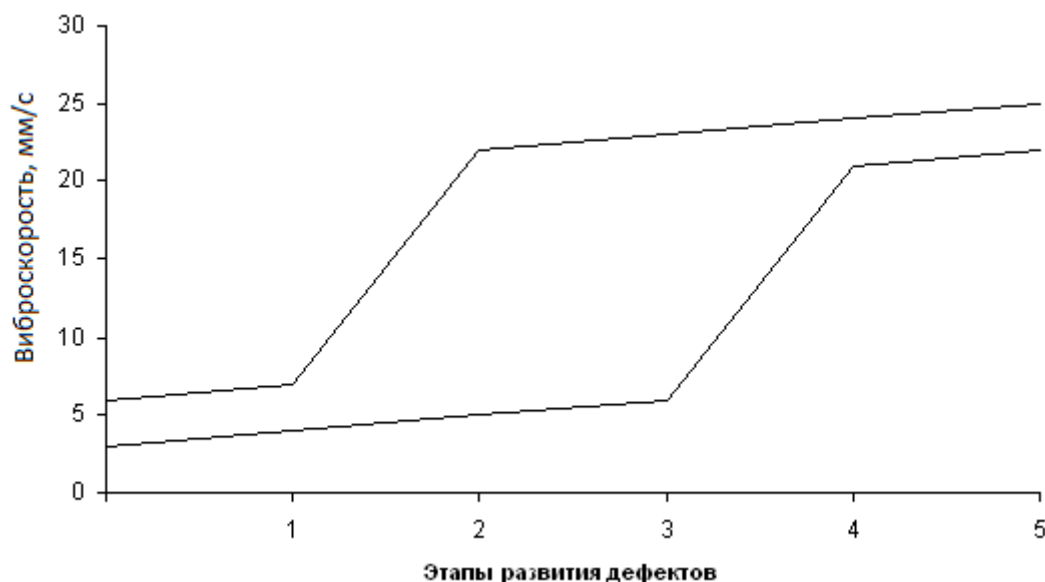


Рис.2. Этапы развития дефектов

Этапы вибродиагностики

В настоящее время принято выделять несколько этапов вибродиагностики [3]:

1. сбор сигнала с датчиков;
2. предварительная обработка сигнала;
3. анализ сигнала и выявление аномалий;
4. формирование признаков описания и классификация аномалий;
5. прогнозирование остаточного ресурса подшипника.

Первый этап осуществляется записью и оцифровкой полученных с датчиков (вибромметр, акселерометр и др.) значений. Уровень вибрации принято измерять по трем параметрам:

- **Виброускорению.** Характеризуется внутренним состоянием деталей оборудования.
- **Виброскоростью.** Характеризуется перемещением точки вдоль измеряемой оси. Параметр показывает степень воздействия вибрации на опоры.
- **Виброперемещением.** Характеризуется смещением границ контрольной точки в процессе вибрации.

На этом же этапе проводится предобработка, включающая в себя различные операции цифровой обработки сигналов:

1. Преобразование форматов данных.
2. Удаление тренда.
3. Удаление аномальных значений (выбросов).
4. Фильтрация и шумоочистка.

Предобработка представляет собой процесс преобразование исходных сигналов к виду, подходящему для его анализа в ручном или автоматизированном виде, наиболее распространенными являются временная и частотная (спектральная) форма сигнала.

Во временном представлении сигнала отображаются изменения амплитуды сигнала во времени, на котором можно заметить различные аномалии, локализованные во времени. На рисунке 3 изображено представление сигнала во временной области.

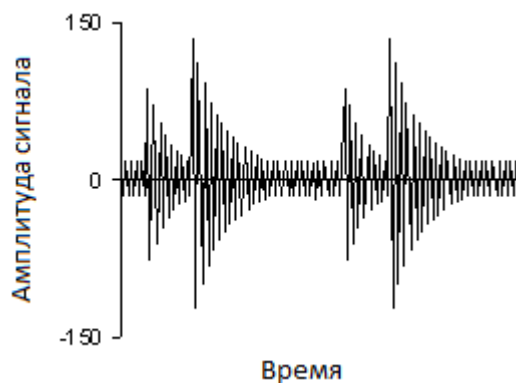


Рис. 3. Временное представление сигнала, зарегистрированного на подшипнике качения с развитым дефектом

Спектральное представление позволяет проводить анализ частот сигнала с целью выявления влияния отдельных гармонических составляющих на результирующий сигнал. На рисунке 4 изображен пример спектрального представления вибросигнала.

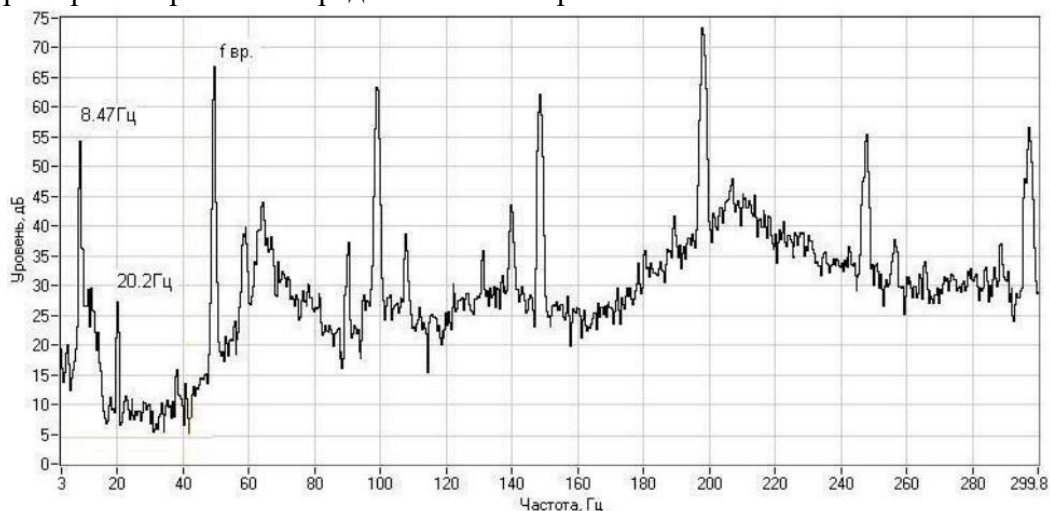


Рис. 4. Спектральное представление сигнала

На этапе предобработки сигнала уже могут быть выявлены аномалии в сигнале (например, импульсы) и применяться фильтрация сигнала, например, с целью подавления шума и удаления известных гармонических помех.

На этапе анализа рассматриваются задачи, решение которых невозможно или представляет сложность при применении классических методов.

К этим задачам относятся:

1. Выделение скрытых особенностей сигнала.
2. Выделение фоновых процессов.
3. Классификация особенностей.

4. Выявление скрытых закономерностей в последовательности условно стационарных участков сигнала.

На практике, значения, полученные с датчиков, сравниваются с табличными значениями. Измерения принято производить в трех направлениях: поперечном, осевом и вертикальном. Изменения нормы вибрации, полученные на поперечном направлении, свидетельствуют о дисбалансе оборудования. Изменения нормы вибрации на осевом направлении предвещает о расцентровке оборудования. Выход из строя опор или фундамента характеризуется повышением норм вибрации на вертикальной оси.

В таблице 1 представлены виды дефектов подшипников и используемый тип преобразования сигнала для их обнаружения.

Таблица 1

Виды дефектов и способы их обнаружения

Наименование дефекта подшипника	Используемый тип преобразования сигнала	Количество гармоник в сигнале
Перекокс наружного кольца при посадке	Спектр + огибающая	От 2
Неоднородный радиальный натяг	Спектр + огибающая	От 2
Проскальзывание в посадочном месте	Огибающая	От 3
Ослабление крепления подшипника	Спектр	От 4
Задевания в подшипнике и уплотнениях	Спектр	6
Проблемы смазки	Фон вибрации	-
Увеличенные зазоры в подшипнике	Спектр	От 6
Износ поверхности наружного кольца	Огибающая	-
Износ поверхности тел качения	Огибающая	3
Износ поверхности внутреннего кольца	Огибающая	6
Дефект группы поверхности трения	Огибающая	От 2
Раковины (сколы) на наружном кольце	Огибающая	3
Раковины (сколы) на внутреннем кольце	Огибающая	3
Раковины (сколы) на телах качения	Огибающая	3
Обкатывание наружного кольца	Спектр+ огибающая	-

Для формирования признакового описания часто применяют следующие группы методов:

Диагностики по величине СКЗ виброскорости. Самый простой и легкорезализуемый метод, которому для измерения уровня вибрации простой виброметр. Основным недостатком представленного метода является запоздалое обнаружение дефектов (на последних стадиях), когда уже нет возможности провести какие-либо профилактические меры.

Диагностика дефектов подшипников качения по спектрам вибрационных сигналов. Рассматриваемый метод позволяет обнаруживать дефекты подшипников на стадии середины этапа 2, когда энергия резонансных колебаний становится заметной в общем частотном распределении вибросигнала.

Вибродиагностика подшипников качения по соотношению пик/фон. Неоспоримым преимуществом по отношению к вышеописанным методам является выявление дефектов в конце 1 этапа. Существует несколько модификаций представленного метода:

SE (Spike Energy) – метод измерения энергии импульса

SPM (Shock Pulse Measurement) – метод ударных импульсов

HFD (High Frequency Detection) – метод обнаружения высокочастотного сигнала.

Вибродиагностика подшипников качения по спектру огибающей. Ставший уже классическим метод диагностики, позволяющий обнаружить дефекты с середины этапа 1.

Компания Балтех произвела сравнительную характеристику методов по критерию применимости (в оборудовании) для разных дефектов. Сравнительная характеристика представлена пятибалльной шкалой, где пять звезд – максимальный балл [11, 12].

Сравнительная характеристика классических методов

Параметр	Оценка метода			
	Пик-фактор	Прямой спектр	Спектр огибающей	Ударные импульсы
Диагностика зарождающихся дефектов	-	*	*****	****
Диагностика развитых эффектов	**	***	*****	*****
Оценка состояния по результатам однократного измерения	*	**	*****	*****
Оценка состояния при наблюдении за изменением вибропараметра во времени	***	****	*****	*****
Разделение состояния подшипника по кинематике и смазке	-	-	-	****
Идентификация изменений кинематики подшипника с конкретными источниками	-	***	****	-
Помехозащищенность	*	**	*****	****
Легкая и дешевая аппаратная реализация	*****	**	*	*****

Для выявления аномалий в сигналах целесообразным является применение частотно-временных методов анализа [1, 2, 4, 5, 9, 10]: оконное преобразование Фурье, вейвлет-анализ, разреженная аппроксимация. Основным преимуществом которых является высокая чувствительность к разномасштабным аномалиям сигнала. Ключевой сложностью применения данных методов является выбор подходящих атомных функций и высокая вычислительная сложность последующего анализа.

Для классификации, как правило, применяют методы интеллектуального анализа, базирующиеся на нейросетевом подходе, поскольку обнаружение явных зависимостей между признаковым описанием класса аномалии и дефектом представляет существенную сложность.

На предприятиях с постоянным использованием оборудования, применяющих подшипниковые конструкции, остро встает вопрос о плановом ремонте и объеме работ. Ответом на этот вопрос служит решение задачи прогнозирования остаточного ресурса [8].

Прогнозирование – это предсказание будущего состояния объекта посредством проведения различных исследований, которые позволяют заранее определить реальный срок службы, что способствует организации обслуживания по фактическому ТС (вместо обслуживания по срокам или по ресурсу) [8].

Статистика показывает, что большинство неполадок на предприятии ООО «Газпром нефтехим Салават», приходится 41% отказов на неисправность подшипников [6]. Отсюда следует, что надежность роторного оборудования в первую очередь определяется надежностью подшипниковых узлов данного механизма, а значит, задачу прогнозирования остаточного ресурса роторного механизма можно свести к задаче прогнозирования остаточного ресурса подшипников.

Заключение

Чтобы повысить качество диагностирования подшипников, в настоящее время, используют несколько технологических подходов, которые компенсируют недостатки друг друга. К примеру, диагностирование простых дефектов, у которых сигнал можно представить в виде одной-трех гармоник, проще при помощи спектрального анализа вибрационного сигнала. Если же сигнал представляет собой набор десятка или более гармоник, то, в данной ситуации, сигнал стоит анализировать при помощи вейвлет-преобразования, поскольку силы, вызывающие дефекты, по своей природе могут быть периодическими, непериодическими или случайными и часто проявляются на высоких частотах вибрации. На сегодняшний момент до сих пор идет разработка и применение нестандартных подходов в обработке и анализе вибросигналов.

Главными требованиями к методам следующие: эффективность, оптимальное соотношение цена/качество, технологичность, возможность работы в реальном масштабе времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жингаровский, А.Н. Изучение механических передач: учеб. пособие / А.Н. Жингаровский, Е.И. Кейн, Е.Л. Суровцев. – 3-е изд., испр. – Ухта: УГТУ, 2007. – 164 с.: ил.
2. Исмагилов, Р.Н. Прогнозирование остаточного ресурса подшипника по уровню вибрации механизма / Р.Н. Исмагилов, Р.Р. Гареев, В.У. Ямалиев, А.А. Мацибора // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – С. 65 – 68.
3. Прахов И.В. Оценка поврежденности насосных агрегатов по значениям параметров гармоник токов и напряжений электропривода: дис. канд. техн. наук. Уфа, 2011. С. 59.
4. Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок / В.А. Яценко, В. А. Пристром, В.Ф. Рубан // Сборник научных трудов. - Донецк: ОАО "НИИГМ им. М.М.Федорова, 2007 г. - С. 84-90.
5. Li C. J., Wu S. On-line detection of localized defects in bearings by pattern recognition analysis // Journal of engineering for industry. 1989. Т. 111, №4. С. 331 - 336.
6. Методы вибродиагностики // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://vibropoint.ru/metody-vibrodiagnostiki/> (дата обращения 10.09.2021).
7. Петров И.В. Оценка достоверности различных способов измерения и обработки виброакустических характеристик при техническом диагностировании электрических машин // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2014. - № 1. – С. 108 – 116.
8. Lukovenkova, O.O. Complex analysis of pre-seismic geoacoustic and electromagnetic emission signals / O.O. Lukovenkova, A.A. Solodchuk, A.B. Tristanov, E.I. Malkin // E3S Web of Conferences. 10th Anniversary International Conference "Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquake Precursors", STRPEP 2019. Federal State Budget Research Institution Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; Editors: Salikhov N, Shevtsov B.M., Vilayev A., 2019. С. 03001.
9. Kim, A.A. Parallel computations for real-time implementation of adaptive sparse approximation methods / A.A. Kim, O.O. Lukovenkova, Y.V. Marapulets, A.B. Tristanov // PROCEEDINGS OF 2017 XX IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFT COMPUTING AND MEASUREMENTS (SCM). 2017. С. 301-303.
10. Marapulets, Y.V. Time-frequency analysis of sound range acoustic emission by the sparse approximation method / Y.V. Marapulets, A.B. Tristanov, B.M. Shevtsov // Doklady Earth Sciences. 2014. Т. 456. № 2. С. 705-708.
11. Афанасьева, А.А. Применение разреженной аппроксимации и методов кластеризации для описания структуры временных рядов акустической эмиссии / А.А. Афанасьева, О.О. Луковенкова, Ю.В. Марапулец, А.Б. Тристанов // Цифровая обработка сигналов. 2013. № 2. С. 30-34.
12. Малла, С. Вейвлеты в обработке сигналов / С. Малла, Пер. с англ. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
13. Матюшкова О.Ю. Современные методы виброакустического диагностирования / В.Ю. Тэттер // Омский научный вестник. – 2013. - № 3 (123). – С. 294-299.
14. Исмагилов, Р.Н. Прогнозирование остаточного ресурса подшипника по уровню вибрации механизма / Р.Н. Исмагилов, Р.Р. Гареев, В.У. Ямалиев, А.А. Мацибора // Экспозиция Нефть Газ. – 2015. – С. 65 – 68.
15. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

STAGES OF TECHNICAL CONDITION AND ESTIMATED CHARACTERISTICS OF METHODS OF VIBRATION DIAGNOSTICS OF ROLLING BEARINGS

¹ Bazarov D.A., assistant of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies

² Tristanov A.B., PhD in Technical Sciences, Head of the Department of Applied Mathematics and Information Technologies

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹ denis.bazarov@klgtu.ru; ² alexander.tristanov@klgtu.ru

The paper presents the structure of rolling bearings and the types of defects that occur on each element of this structure. The stages of the technical condition of the bearing are described, indicating the methods and methods of detecting defects at each of the stages. A comparative characteristic of classical methods for detecting defects in a bearing is presented and their main disadvantages are indicated. The modern methods of vibration diagnostics are listed with an indication of the complexity of their application. Conclusions are drawn about the applicability of the described methods for vibration diagnostics.

УДК 629.5.015.2

ВЛИЯНИЕ КУРСОВОГО УГЛА СУДНА НА ЕГО ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В УСЛОВИЯХ ЗАХВАТА ЕГО НОСОВОЙ ОКОНЕЧНОСТИ ВОЛНОЙ

¹Бураковский Евгений Петрович, д-р техн. наук, профессор

²Бураковский Павел Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент

³Юсып Вячеслав Михайлович, капитан 1 ранга, начальник кафедры теории, устройства и живучести корабля

^{1,3}ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. адмирала Н.Г. Кузнецова»
(филиал в г. Калининграде), Калининград, Россия,
e-mail: ¹e_burakovsky@mail.ru; ³v-y48@yandex.ru

²Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ²paul_b@mail.ru

В настоящей статье приводятся результаты исследования влияния курсового угла на величину гидродинамических сил и моментов, действующих на носовую оконечность судна в условиях ее захвата волной. Моделирование динамики взаимодействия носовой оконечности судна с волной выполнено в рамках технологии SPH. Показано, что даже при отсутствии крена судна на косом курсе могут развиваться значительные поперечные гидродинамические силы и кренящие моменты, что может способствовать опрокидыванию судна.

1. Постановка задачи

Основной причиной гибели судов в открытом море являются, как правило, штормовые условия, когда на суда обрушиваются волны большой разрушительной силы. Суда стараются по возможности избегать таких сильных штормов, однако это не всегда удается, так как циклоны могут

резко менять направление движения. Существующие конструкции судов не предназначены противостоять большим волнам, так как они проектируются на восприятие так называемых расчетных волн. А если параметры реальных волн превышают расчетные значения, то возникает большая проблема с обеспечением безопасности судна. С другой стороны, не был известен механизм взаимодействия таких аномальных волн с судовыми конструкциями, который только совсем недавно был описан авторами и связан с захватом волной носовой оконечности судна. Неопределенность ситуации, возникающая в практике эксплуатации морских судов, представляет собой одну из наиболее сложных проблем при анализе и прогнозе поведения судна в различных условиях эксплуатации. При этом неполнота исходной информации не позволяет выявить скрытые эффекты взаимодействия внешней среды с судном, что препятствует эффективной разработке мероприятий, направленных на повышение безопасности мореплавания.

В процессе захвата волной носовой оконечности судна и омывании ее водой возникает система гидродинамических сил и опрокидывающих моментов при резко сниженной или почти обнуленной метацентрической высоте [1, 2]. Кроме того, экспериментальные исследования авторов [3] показали, что в процессе качки судна возникающая боковая сила стремится развернуть судно лагом к волне, в результате чего последующее погружение и выход из условий захвата будет осуществляться при движении судна не перпендикулярно набегающему волнению, а с некоторым углом φ . При этом, чем больше колебаний осуществляет судно, тем сильнее его разворачивает лагом к волнению. Изменение траектории движения судна ведет и к изменению гидродинамических сил и моментов, действующих на носовую оконечность корпуса судна.

На рис. 1 представлены схемы заливания палубы при движении прямым и косым курсом к волнению. Видно, что на рис. 1,б наблюдается несимметричность давления на носовую часть палубы, что в конечном счете ведет даже при отсутствии крена судна ($\theta=0^\circ$) к возникновению чрезвычайно больших гидродинамических сил и моментов.

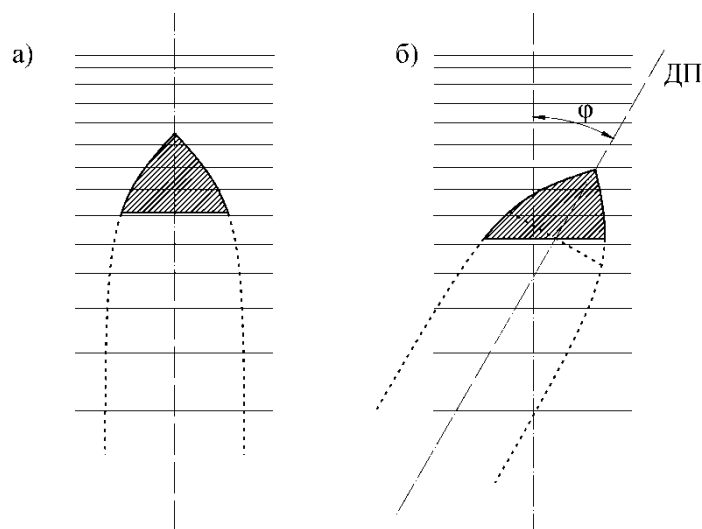


Рис. 1. Схема заливания палубы при движении судна: а) – носом на волну; б) – косым курсом

2. Методы исследования

Исследование данного явления проводилось в рамках технологии SPH. Общий вид трехмерной модели, построенной на основании теоретического чертежа судна, представлен на рис. 2. Схема размещения конструкции носовой оконечности в камере с потоком жидкости с указанием курсового угла представлена на рис. 3. На рис. 4 показан процесс обтекания носовой оконечности с фальшбортом при моделировании явления захвата волной носовой оконечности на косом курсе.

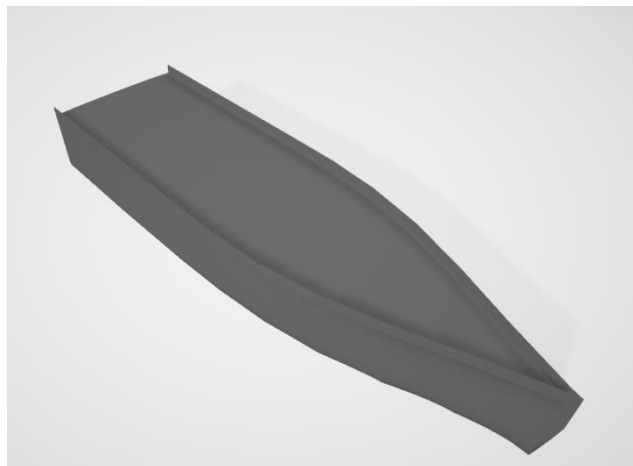


Рис. 2. Общий вид модели носовой оконечности

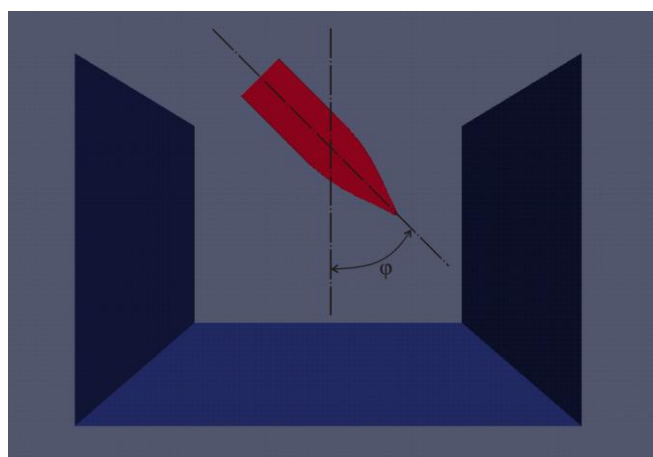


Рис. 3. Схема размещения конструкции носовой оконечности в процессе испытаний

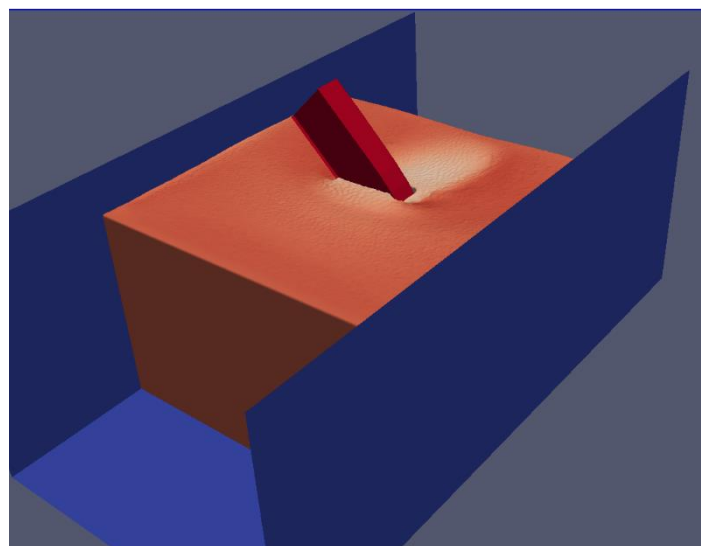


Рис. 4. Обтекание носовой оконечности потоком жидкости

3. Результаты исследования

Результаты исследования представлены на рис. 5, рис. 6 и рис. 7. При обработке результатов испытаний значения гидродинамических сил и моментов приводились к безразмерному виду. Величина гидродинамических сил была отнесена к значению силы, действующей на носовую оконечность без фальшборта в направлении обтекания. Полученные в результате численного эксперимента

значения кренящего момента M_{zy} приводились к безразмерному виду путем деления на величину восстанавливающего момента $M_{\max M}$, определенного согласно требованиям Регистра [4]. В соответствии с [4] с учетом масштаба модели максимальный восстанавливающий момент для нее $M_{\max M}$ при удовлетворении требований [4] составит

$$M_{\max M} = l_{\max M} \cdot D_M \cdot g \approx 0,53 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (1)$$

где $l_{\max M}$ – максимальное плечо диаграммы статической остойчивости модели в соответствии с требованиями [4];

D_M – водоизмещение модели;

g – ускорение силы тяжести.

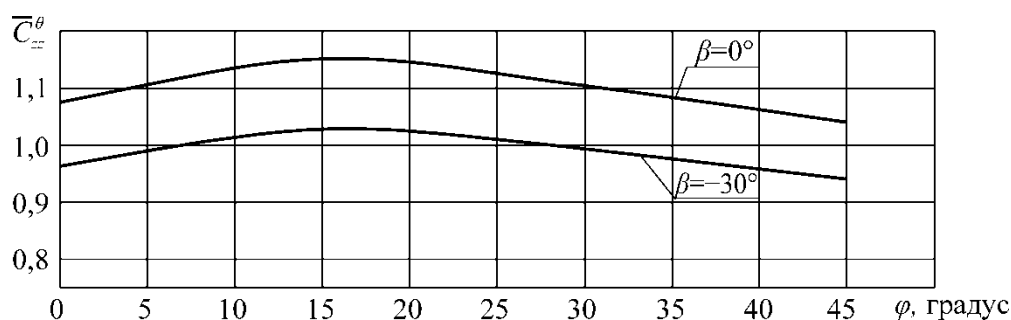


Рис. 5. Зависимость гидродинамической силы, действующей на носовую оконечность в направлении обтекания, от курсового угла

На рис. 5 представлены вертикальные давления на носовую оконечность корпуса судна при двух значениях угла развала фальшборта β . Видно, что они изменяются в диапазоне $C_{zz}^0 = 0,95 - 1,15$, что находится на том же уровне, что и при ходе судна курсом на волну. При этом следует отметить, что в районе $\varphi=15^\circ$ наблюдаются наибольшие значения гидродинамической силы, действующей в направлении обтекания.

На рис. 6 показано боковое давление C_{yz}^0 на носовую оконечность, действующее перпендикулярно направлению обтекания палубы. Как видно из графиков, это давление очень сильно зависит от курсового угла. Так, если курсовой угол $\varphi=0^\circ$, то $C_{yz}^0=0$, а увеличение курсового угла ведет к резкому возрастанию бокового давления, что ведет к развороту судна лагом к волне. Рисунок показывает, что максимальное значение боковой силы наблюдается при курсовом угле порядка 30° для обоих рассмотренных вариантов исполнения фальшборта в носовой оконечности. Следует отметить, что при значениях курсового угла до 15° угол наклона фальшборта ($\beta=0^\circ$ и $\beta=-30^\circ$) практически не оказывает влияния на поперечную составляющую гидродинамической силы.

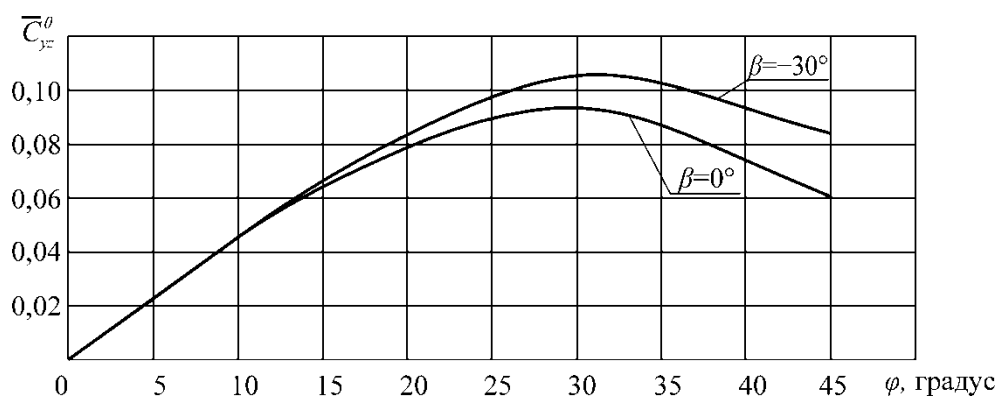


Рис. 6. Зависимость поперечной гидродинамической силы от курсового угла

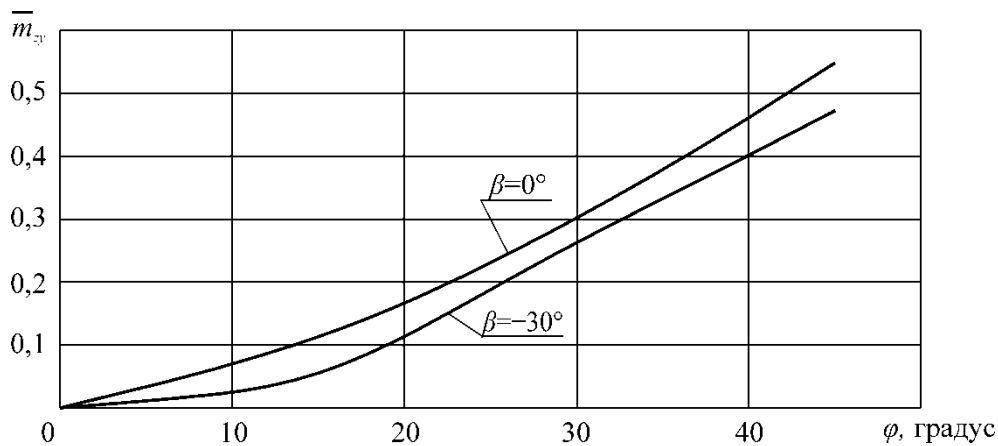


Рис. 7. Зависимость кренящего момента от курсового угла

На рис. 7 представлено изменение кренящего момента $\bar{m}_{zy}=M_{zy}/M_{\max M}$ судна при движении косым курсом в условиях захвата волной его носовой оконечности. Рисунок показывает, что с увеличением курсового угла до значения $\varphi=45^\circ$ этот момент монотонно возрастает для обоих рассмотренных вариантов исполнения фальшборта (прямой фальшборт при $\beta=0^\circ$ и фальшборт с углом завала $\beta=-30^\circ$). Из рис. 7 видно, что даже при отсутствии крена, только за счет изменения курсового угла, кренящий момент достигает $\bar{m}_{zy}=0,45 - 0,55$.

4. Выводы

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

- количество погружений при развороте судна может быть сокращено вплоть до опрокидывания судна при одном погружении носовой оконечности;
- даже незначительное отклонение судна от направления бега волн ведет к резкому возрастанию поперечных гидродинамических сил и опрокидывающих моментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бураковский П.Е. Экспериментальное исследование гидродинамических сил, действующих на носовую оконечность судна в процессе захвата ее волной // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Специальный выпуск 1. – С. 146–152.
2. Бураковский Е.П., Бураковский П.Е., Дмитровский В.А. Конструктивное обеспечение безопасности мореплавания: монография. – СПб.: Лань, 2020. – 300 с.
3. Бураковский Е.П., Бураковский П.Е. К вопросу об определении нагрузки, действующей на палубу судна в носовой оконечности при ее залипании на встречном волнении // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – №4(42), т. 3. – С. 19–25.
4. Правила классификации и постройки морских судов. Часть IV. Остойчивость / Российский Морской Регистр судоходства. – СПб.: РМРС, 2018. – 82 с.

INFLUENCE OF A VESSEL'S COURSE ANGLE ON ITS HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS UNDER CONDITIONS OF CAPTURE OF ITS BOW BY A WAVE

¹Burakovskiy Evgeny Petrovich, Dr. hab., professor

²Burakovskiy Pavel Evgenievich, Ph. D., assistant professor

³Yusyp Vyacheslav Mikhaylovich, captain of the 1st rank, head of the department of theory, design and survivability of the ship

^{1,3}Admiral N.G. Kuznetsov naval academy (Branch Kaliningrad), Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹e_burakovsky@mail.ru; ³v-y48@yandex.ru

²Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ²paul_b@mail.ru

This article presents the results of a study of the influence of the heading angle on the magnitude of hydrodynamic forces and moments acting on the bow of the ship under conditions of its capture by a wave. Modeling the dynamics of the interaction of the bow end of the ship with the wave was carried out using the SPH method. It is shown that even in the absence of a ship's heel on an oblique course, significant transverse hydrodynamic forces and heeling moments can develop, which can contribute to capsizing the ship.

УДК 661.1

АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ТЕХНИКИ К АДДИТИВНОМУ ИЗГОТОВЛЕНИЮ И ИХ ДАЛЬНЕЙШИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ (ЧАСТЬ 3)

¹Дектярев Александр Владимирович, аспирант

²Зобов Павел Геннадьевич, магистрант

³Гришин Павел Романович, аспирант

⁴Морозов Владимир Николаевич, канд. техн. наук, проф. каф. кораблестроения

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,

Калининград, Россия, e-mail: nwasanches@mail.ru; ¹a.dektyarev@shipyard-yantar.ru

³pavel.grishin@klgtu.ru; ⁴mvn3613@gmail.com

²Институт судостроения и морской арктической техники,

Северодвинск, Россия, e-mail: ²pavelzobov98@mail.ru

Статья является продолжением работ по оценке применяемости объектов морской техники к 3D-печати. Цель – исследование спроса на продукцию при запуске аддитивного производства на судостроительном предприятии. Новизна заключается в рассмотрении экономического эффекта от печати в двух направлениях – при самостоятельном обеспечении предприятием необходимых изделий и при работе на заказ для получения дополнительной прибыли. Выводы – спрос на 3D-печать на судостроительном предприятии имеется, можно изготавливать не только изделия объектов морской техники, но и другую продукцию под заказ.

Введение

Данная статья является продолжением цикла работ, представленных на VI Международном Балтийском форуме [1] и VII Международном Балтийском форуме [2], об анализе применимости элементов объектов морской техники к аддитивному изготовлению. В прошлых исследованиях были рассмотрены вопросы относительно аналитического представления о том, что можно изготавливать методами 3D-печати в настоящем времени и на перспективу [1], а также примеры самостоятельного обеспечения предприятием изделий МСЧ, входящих в сложные системы [3-6], и отдельно от систем не поставляющихся.

В представленной статье рассматриваются примеры печати продукции как на заказ для получения судостроительным предприятием, открывающего у себя отдел (бюро) аддитивных технологий [3], дополнительной прибыли, так и примеры самообеспечения предприятием необходимой продукцией.

Для анализа по расширению списка номенклатуры изделий, подходящих под аддитивное изготовление, а также для подтверждения спроса, приводятся примеры продукции, для которой экономический эффект не был рассчитан.

1. Классификация рассматриваемых примеров

Рассматриваемые примеры подразделяются на три классификации.

1. Продукция на заказ для получения дополнительной прибыли:

- переключатель лампы холодильника судового;
- колпачки (заглушки) для дисков Remotec R16;
- плавник для сап доски;
- проект «лодка в чемодане».

2. Печать внутри предприятия для самообеспечения:

- элемент судовой арматуры;
- барабан цепной тяги;
- колесо рабочее;
- прототип крышки системного блока с закрытым USB-входом;
- макет автономного устройства для очистки наружных поверхностей морских объектов от гидробионтов без докования.

3. Примеры напечатанной продукции для подтверждения спроса и расширения номенклатуры:

- пробные образцы для бесплатной эксплуатации;
- выставочный макет мини-судна для кафедры кораблестроения ФГБОУ ВО «КГТУ»;
- спейсеры и каркасы для масок для бесплатного пользования в рамках борьбы с пандемией COVID-19;
- логотип фирмы «Балтстрой».

2. Основные характеристики изделий

2.1 Продукция на заказ для получения дополнительной прибыли

2.1.1 Переключатель лампы холодильника судового

Заказ на изготовление продукции, которая входит в состав сложной системы и не поставляется отдельно. Сама холодильная установка снята с производства. Образец переключателя лампы холодильника судового представлен на рисунке 1.



Рис.1. Оригинальный образец переключателя лампы холодильника судового

2.1.2 Колпачки (заглушки) для дисков Remotec R16

Диски являются винтажными и сейчас не производятся. Приобрести их можно только с рук, как и соответственно, колпачки к ним. Образец колпачка представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Оригинальный образец колпачка для диска Remotec R16

2.1.3 Плавник для сап доски

Сап-доска, для которой изготавливался плавник, показана на рисунке 3 (слева). Сам плавник и его 2D-чертеж представлен на рисунке 3 (справа). Плавник для сап-доски изготавливается под заказ.



Рис. 3. Сап-доска (слева), оригинальный плавник и его чертежи (справа)

2.1.4 Проект «лодка в чемодане»

Проекты лодок-чемоданов, а также «лодок в чемодане» получили известность еще в 20-ые годы 20-го века, как в СССР, так и за рубежом. Известны некоторые патенты по этому направлению [7-9], а также современные разработки [10, 11].

В данном случае, под лодкой в чемодане понимается проект судна, изготовленный в масштабе, разбитый на построочные элементы (отсеки) с насыщением (отдельно от отсеков), которые собираются модульно-агрегатным методом.

2.2 Печать внутри предприятия для самообеспечения

2.2.1 Элемент судовой арматуры

Применение аддитивных технологий для нужд предприятия также набирает популярность в отечественном судостроении. Наибольшую выгоду данная технология имеет при применении на предприятиях полного цикла, в номенклатуре продукции которых содержится большое количество изделий МСЧ. Сложные геометрии и труднообрабатываемые материалы изделий МСЧ широко встречаются при производстве глубоководных аппаратов. Среди имеющихся примеров такой продукции имеются и элементы судовой арматуры. Производство таких элементов аддитивными методами позволяет сэкономить от 10 до 40% времени в общем цикле изготовления. В настоящий момент рассматривается возможность печати градиентных биметаллических элементов судовой арматуры для обеспечения прохода титановых трубопроводов сквозь стальные переборки. Чертеж элемента судовой арматуры показан на рисунке 4.

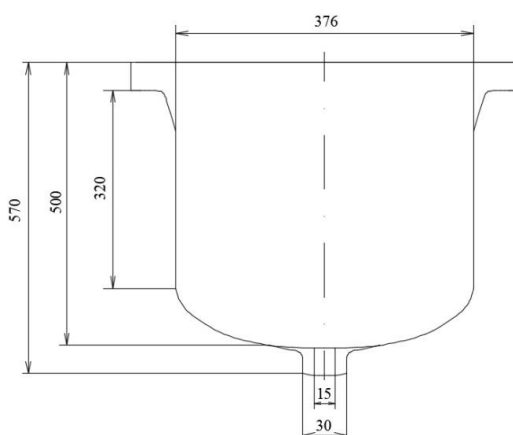


Рис. 4. Чертеж элемента судовой арматуры

2.2.2 Барабан цепной тали

Важным направлением в области работ по сложным изделиям МСЧ является и прототипирование. Ввиду необходимости обеспечения компактности ряда механизмов встречаются элементы, спроектированные и рассчитанные без применения ГОСТов, в рамках определенных ОКР. Удаленность данных ОКР по времени от текущего момента делает невозможным восстановление изначальных методик расчёта и проектирования. Примером такого случая является барабан цепной тали, имеющий в своей геометрии всего 3 грани. Такое решение позволило конструктору сэкономить около 17% объема всего механизма, однако, при малейших отклонениях геометрии барабана или цепи таль заклинивало. Утрата изначальных чертежей и методик расчёта, вместе с ухудшением точности изготовления цепей ввиду тотальной экономии коммерческих предприятий-подрядчиков привело к полной неработоспособности данного механизма. Методами лазерного сканирования и аддитивного прототипирования был проведен реверс-инжиниринг изначального барабана цепной тали и опытная подгонка геометрии ложементов барабана к имеющимся цепям. Решение данного вопроса при применении связки лазерное сканирование/аддитивное прототипирование заняло

около 2-х недель. Изготовление опытных барабанов стандартными методами занимало 6 месяцев на один барабан. Эскиз барабана цепной тали показан на рисунке 5.

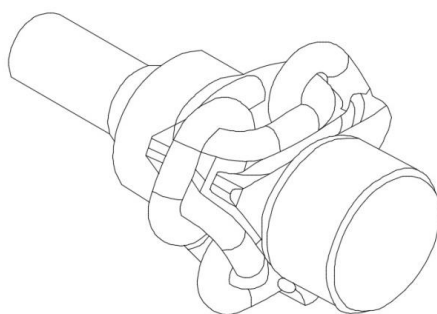


Рис. 5. Эскиз барабана цепной тали

2.2.3 Колесо рабочее

Продукция является примером сложного составного изделия МСЧ с длительным циклом изготовления. Подробный разбор ОКР по технологии печати показан в [12]. 3D-модель колеса, изготовленного по традиционной технологии, представлена на рисунке 6.



Рис. 6. Визуализация 3D-модели сборки колеса рабочего, выполненного по традиционной технологии [12]

2.2.4 Прототип крышки системного блока с закрытым USB-входом

Продукция печаталась в одном из судостроительных предприятий Астраханской области. Для требований информационной безопасности, корпуса ПК для некоторых производств, должны быть обеспечены заглушками для USB разъемов. Подобные корпуса делаются только на заказ, поэтому в данном варианте был придуман прототип лицевой панели, который ставился на корпус в качестве опытного образца.

2.2.5 Макет автономного устройства для очистки наружных поверхностей морских объектов от гидробионтов без докования

Для АО «ПСЗ «Янтарь» в рамках IV корпоративного чемпионата профессионального мастерства работников обществ Группы ОСК по стандартам WorldSkills [13] в компетенции «управление жизненным циклом изделия» был разработан проект автономного устройства для очистки наружных поверхностей морских объектов от гидробионтов без докования, для которого, помимо документационного обеспечения, нужно было разработать выставочный макет.

3. Технология 3D-печати и экономический эффект

3.1 Продукция на заказ для получения дополнительной прибыли

3.1.1 Переключатель лампы холодильника судового

3D-модель и напечатанные изделия переключателя лампы холодильника судового представлены на рисунке 7.



Рис. 7. 3D-модель и напечатанные переключатели лампы холодильника судового

Изделие было напечатано на 3D-принтере Creality Ender 3 из PLA при температуре 200 °С, на подложках, при полном заполнении. Стоимость печати – 300 руб.

Т.к. продукция снята с изготовления, был проведен анализ стоимости аналогичной современной продукции на основании данных [14-16], согласно которому минимальная стоимость аналогичной продукции составляет 18 000 руб. Следовательно, цену на печать можно поднимать.

3.1.2 Колпачки (заглушки) для дисков Remotec R16

3D-модель и напечатанные изделия показаны на рисунке 8.



Рис. 8. 3D-модель и напечатанные колпачки дисков Remotec R16

Мониторинг сайтов по продаже заглушек определил их ценовой диапазон с 650 до 2 000 руб за штуку [17, 18].

Печать производилась из ABS. Адгезив – лак от «The 3D», сопло – 0.3 мм, температура печати – 232 °С, температура стола – 100 °С, скорость – 40 мм/сек, высота слоя – 0.12 мм. Стоимость печати – 650 руб за один образец. Было напечатано 4 заглушки, общий экономический эффект от 3D-печати составил 4 000 руб, отталкиваясь от средней цены покупки заглушек.

3.1.3 Плавник для сап доски

Изделие печаталось на 3D-принтере Creality Ender 3 из PETG при температуре 235 °С и температуре стола 70 °С, высоте слоя – 0.12 мм, толщине линии – 0.4 мм. 3D-модель плавника с сечениями представлена на рисунке 9, процесс печати и напечатанное изделие – на рисунке 10.

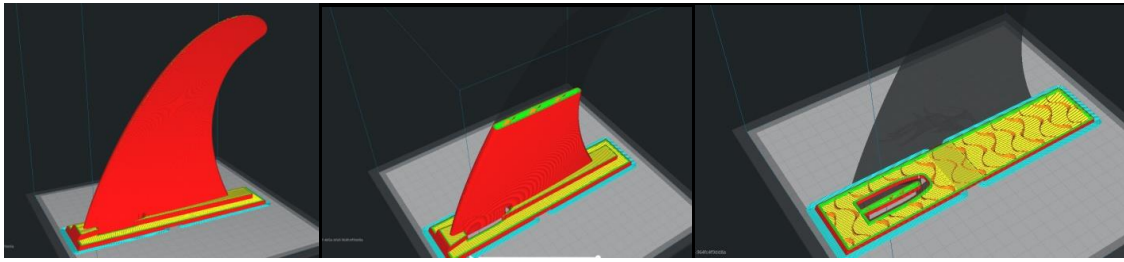


Рис. 9. 3D-модель плавника с сечениями



Рис. 10. Процесс печати (слева) и напечатанное изделие (справа)

Стоимость оригинального изделия под заказ – 2 000 руб [19]. Стоимость печати – 1 000 руб. Следовательно, цену на печать можно поднимать.

3.1.4 Проект «лодка в чемодане»

Один макет, изготовленный по традиционным технологиям, стоит около 500 000 руб, по аддитивным – около 120 000 руб. Печать осуществлялась по технологии FDM на низкобюджетных 3D-принтерах с небольшим полем печати. Напечатанные элементы показаны на рисунке 11, расположение модели в виде чемодана – на рисунке 12.



Рис. 11. Напечатанные элементы проекта «лодка в чемодане»



Рис. 12. Расположение лодки в чемодане

3.2 Печать внутри предприятия для самообеспечения

3.2.1 Элемент судовой арматуры

Печать осуществлялась по технологии HLPS. Экономический эффект от использования 3D-печати показан в таблице 1.

Таблица 1

Эффект от применения технологии HLPS

Текущая загрузка	Загрузка мех. обработкой	Объем сложной мех. обработки	Стоимость сложной мех. обработки	Стоимость HPLM	Эффект HPLM	Трудоемкость HPLM	Необходимый парк машин HPLM
тыс. н-ч/год			млн. руб/год			тыс. н-ч/год	ед.
1 423	925	305	763	153	610	31	12

3.2.2 Барабан цепной тяги

Прототипирование осуществлялось по технологиям FDM и MIM для подгонки «по месту». В результате, за 2 недели были получены 4 пластиковых прототипа стоимостью 8 000 руб, за 8 месяцев – 2 титановых изделия стоимостью 390 000 руб. Экономия составила, прежде всего, в устранении такого вида потерь, как ожидание длительностью 1 год и 4 месяца, что принесло экономический эффект в размере 770 000 руб.

3.2.3 Колесо рабочее

Печать производилась по технологии SLM. Сама конструкция колеса рабочего была оптимизирована под 3D-печать. В результате, новая версия колеса рабочего обладает полыми лопатками, тетрагональной заполняющей сеткой и оптимизированным количеством креплений. Данные меры позволили повысить коэффициент использования материала до 0.97 и снизить массу изделия на 60%. Себестоимость уменьшилась в 1.8 раза.

3D-модель оптимизированного колеса рабочего представлена на рисунке 13.



Рис. 13. Оптимизированная 3D-модель колеса рабочего [12]

3.2.4 Прототип крышки системного блока с закрытым USB-входом

На проектирование, лазерное сканирование и печать прототипа лицевой панели системного блока потребовалось 20 тыс. руб. После этого, прототип был поставлен на системный блок для экспериментальной отработки. Затем, 3D-модель была отправлена на литейный завод для серийного выпуска литых лицевых панелей с заглушками для USB-портов. В результате, сам корпус стоит до 3 000 руб, литые панели – около 1 500 руб.

Прототип панели, установленный на корпус системного блока, показан на рисунке 14.



Рис. 14. Прототип лицевой панели для заглушки USB-портов

3.2.5 Макет автономного устройства для очистки наружных поверхностей морских объектов от гидробионтов без докования

Макет был выполнен из PLA из двух частей для возможности демонстрации внутреннего оборудования устройства. Стоимость печати – 700 руб. Традиционное изготовление подобного макета согласно [20] – около 6 000 руб. Экономический эффект от печати – 5 300 руб.

3D-модели макета представлены на рисунке 15, процесс печати и напечатанный макет – на рисунке 16.

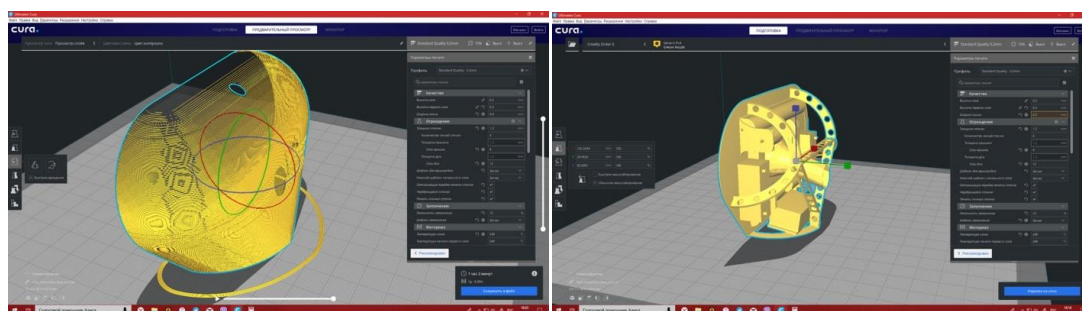


Рис.15. 3D-модели частей макета

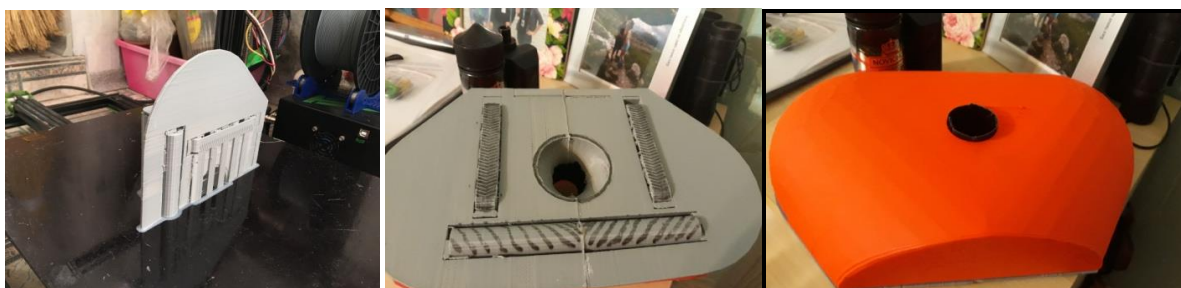


Рис. 16. Процесс печати и напечатанное изделие

3.3 Примеры напечатанной продукции для подтверждения спроса и расширения номенклатуры

Для подтверждения спроса, представим продукцию, которая печаталась на заказ для других предприятий и для которой экономический эффект не был рассчитан.

3.3.1 Пробные образцы для бесплатной эксплуатации

Представлены на рисунке 17 в виде небольших комплектующих (шестерен, колес) для различных станков и механизмов.



Рис. 17. Напечатанные комплектующие для станков и механизмов

3.3.2 Выставочный макет мини-судна для кафедры кораблестроения ФГБОУ ВО «КГТУ»

Макет представлен на рисунке 18.



Рис. 18. Макет модели судна

3.3.3 Спейсеры и каркасы для масок для бесплатного пользования в рамках борьбы с пандемией COVID-19

Представлены на рисунке 19.

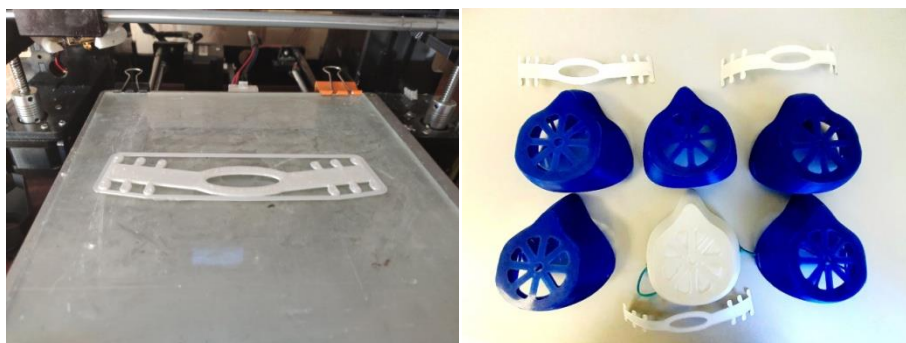


Рис. 19. Спейсер (слева) и каркасы (справа) для медицинских масок

3.3.4 Логотип фирмы «Балтстрой»

Для изготовления логотипа фирмы «Балтстрой» [21], необходимо было использовать пластики различных цветов, т.к. по техническому заданию от заказчика, покраска запрещалась. Постобработка – шлифовка и покрытие матовым лаком. Оригинальный логотип с сайта компании, его 3D-модель и напечатанный образец представлены на рисунке 20.

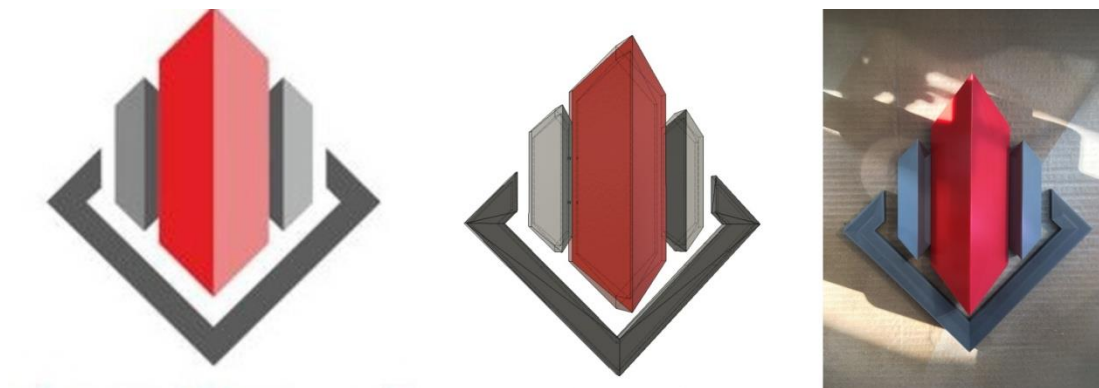


Рис. 20. Слева-направо: логотип фирмы, 3D-модель логотипа, напечатанный образец

Заключение

Значимость методов 3D-прототипирования оценивается в том, что, несмотря на то, что мировое судостроение идет к тому, чтобы отдавать непрофильные работы на аутсорсинг, учитывая значительные затраты при самостоятельном обеспечении подобных изделий традиционными методами изготовления, именно благодаря аддитивным технологиям заводы снова могут полностью себя обеспечивать всеми возможными деталями. Также, при открытии отдела (бюро) аддитивных технологий проявляется возможность работы на заказ для печати различной продукции, как для промышленных производств, так и для частных клиентов.

В представленной статье приводятся примеры печати разнообразной продукции, что является подтверждением наличия спроса на 3D-печать на местах, когда изделие традиционными технологиями изготовить невозможно или экономически не выгодно, когда оно снято с производства, входит в состав сложной системы и не поставляется отдельно от нее или попадает под законодательство об импортозамещении.

Представленная работа может помочь судостроительным предприятиям при создании отдела (бюро) аддитивных технологий на своем производстве в анализе номенклатуры изделий, подходящих под аддитивное изготовление, как для самообеспечения, так и при оценке возможностей отдела при работе на заказ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дектярев А.В., Морозов В.Н. Анализ применимости элементов объектов морской техники к аддитивному производству и их дальнейшие перспективы развития // Материалы VI Международного Балтийского морского форума. Т.2. – Калининград: Издательство БГАРФ, 2018. с.117-126.
2. Дектярев А.В., Гришин П.Р., Морозов В.Н. Анализ применимости элементов объектов морской техники к аддитивному производству и их дальнейшие перспективы развития. Часть 2 // Материалы VII Международного Балтийского морского форума: в 6 т. Калининград, 2019. с. 111-118.
3. Дектярев А.В. О планировании и реализации проекта создания отдела (бюро) аддитивных технологий на АО «ПСЗ «Янтарь» // Морские интеллектуальные технологии. 2020. Т. 1, №3 (49). с. 110-119.
4. Дектярев А.В., Гришин П.Р., Пчелинцев А.В., Морозов В.Н. Опыт применения 3D-печати в судовом машиностроении на примере ремонта системы судовой пожарной автоматики // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2019. №54/55. с. 87-95.

5. Дектярев А.В., Гришин П.Р., Пчелинцев А.В., Морозов В.Н. Конструктивно-технологический анализ ремонта системы вентиляции на примере крыльчатки охлаждения двигателя методами 3D-печати // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2020. №58/59. с. 64-70.

6. Дектярев А.В., Гришин П.Р., Пчелинцев А.В., Морозов В.Н. Особенности применения аддитивных технологий в судостроительном производстве при серийном изготовлении продукции на примере тумблера выключателя судового // Вестник молодежной науки. 2020. №1 (23). с. 1-7.

7. Патент СССР 853 А1. Лодка-чемодан-палатка-кровать / Попков А.А., опубл. 30.11.1925.

8. Патент РФ SU 2099233 С1. Разборная лодка «Руслан» / Забровский В.И., Морозов С.М., опубл. 20.12.1997.

9. Патент РФ SU 2192359 С2. Судно на воздушной подушке / Червоткин Г.П., опубл. 10.11.2002.

10. Лодка в чемодане. Текст: электронный // Архангельская область. – URL: <http://arhangelskobl.ru/business/news213054.php> (дата обращения: 14.08.2021).

11. Лодка в «чемодане». Текст: электронный // Моделист-конструктор. – URL: <https://modelist-konstruktor.com/razrabotki/lodka-v-chemodane-2> (дата обращения: 14.08.2021).

12. Спиридонов А.Ю., Ляшенко С.М., Прохода А.А., Зобов П.Г. Практический опыт применения аддитивных технологий в отечественном судостроении // Морской вестник. 2020. № S1 (14). с. 90-93.

13. На калининградской верфи ОСК стартовал IV корпоративный чемпионат WorldSkills. Текст: электронный // ОСК. – URL: <https://www.aosk.ru/press-center/news/na-kaliningradskoy-verfi-osk-startoval-iv-korporativnyu-chempionat-worldskills/> (дата обращения: 15.08.2021).

14. Холодильники для катера и яхт. Текст: электронный // Фарватер. – URL: <https://farwater-vl.ru/shop/vse-dlya-katera-i-yahty/elektrooborudovanie/holodil-niki/> (дата обращения: 15.08.2021).

15. Переносные холодильники. Текст: электронный // Maritim: морские товары. – URL: <https://maritim.su/catalog/perenosnye-kholodilniki/> (дата обращения: 15.08.2021).

16. Холодильники, холодильные установки для судна, лодки, яхты. Текст: электронный // 7FT. – URL: <https://7ft.ru/c/kholodilniki/> (дата обращения: 15.08.2021).

17. Купить колпачки Remotec R16. Текст: электронный // Тюнинг маркет. – URL: <https://tuningmarket.kiev.ua/bmw/remotec> (дата обращения: 15.08.2021).

18. Крышки Remotec. Текст: электронный // Festima. – URL: <https://festima.ru/docs/177095920/moscow/kryshki-remotec> (дата обращения: 15.08.2021).

19. Плавник для SUP Hydro-Force. Текст: электронный // Sup-club. – URL: <https://sup-club.ru/katalog/plavniki/plavnik-dlya-sup-hydro-force/> (дата обращения: 15.08.2021).

20. Литые пластика в силиконовые формы, мелкосерийное литье пластмасс на заказ. Текст: электронный // Cubicprints. Расчет онлайн. – URL: <https://www.cubicprints.ru/litie-plastmass-v-silikonovie-formi> (дата обращения: 15.08.2021).

21. БалтСтрой. Текст: электронный // БалтСтрой. – URL: <https://baltstroy39.ru/> (дата обращения: 15.08.2021).

ANALYSIS OF APPLICABILITY OF ELEMENTS OF OBJECTS OF MARINE EQUIPMENT TO ADDITIVE PRODUCTION AND THEIR FURTHER DEVELOPMENT PROSPECTS (PART 3)

¹Dektyarev Alexander Vladimirovich, a graduate student

²Zobov Pavel Gennadievich, undergraduate

³Grishin Pavel Romanovich, a graduate student

⁴Morozov Vladimir Nikolaevich, Ph.D., Professor

¹FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: nwasanches@mail.ru; ¹a.dektyarev@shipyard-yantar.ru; ³pavel.grishin@klgtu.ru;

⁴mvn3613@gmail.com

²Institute of Shipbuilding and Arctic Marine Engineering, Severodvinsk, Russia,

e-mail: ²pavelzobov98@mail.ru

The article is a continuation of work on assessing the applicability of marine engineering objects to 3D printing. The goal is to study the demand for products when starting additive manufacturing at a shipyard. The novelty lies in the consideration of the economic effect of printing in two directions – when the company independently provides the necessary products and when working on order for additional profit. Conclusions – there is a demand for 3D printing at a shipbuilding enterprise; it is possible to produce not only products of marine equipment, but also other products to order.

УДК 629.5.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК ТУНЦЕЛОВНОГО СУДНА НА РАННИХ СТАДИЯХ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

¹Лукьянова Ольга Олеговна, магистрант кафедры кораблестроения

²Дятченко Сергей Васильевич, заведующий кафедрой кораблестроения, д-р техн. наук

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹svd.ks@mail.ru

Приведены результаты статистического анализа, позволившие определить основные элементы средних тунцеловных судов, выбрать судно «прототип» и провести вариационные исследования по определению основных элементов тунцеловного судна при изменении его расчетной длины. Для рассматриваемых вариантов построены теоретические чертежи, кривые элементов теоретического чертежа и проведено их цифрование. По результатам исследований сделаны соответствующие выводы.

В настоящее время средние рыбопромысловые суда составляют основную группу судов добывающего флота России и наиболее востребованы рыбопромышленными компаниями. Одним из важных объектов рыбного промысла долгие годы являлся лов тунца. Сегодня тунцеловная отрасль в России пришла в полный упадок в следствии ликвидации российского океанического промысла и принятых экологических, санитарных и экономических требований. Актуальность темы связана с эскизной проработкой новых современных судов для вылова тунца.

Главной особенностью тунца, как объекта промысла, является то, что он практически никогда не стоит на месте и находится в постоянном движении. Поэтому, одним из важных требований к тунцеловным судам, является обладание высокими показателями ходкости. Был проведен анализ основных элементов ряда средних тунцеловных судов, который представлен в табл. 1. Целью этого анализа был выбор судна прототипа, определения диапазонов изменения основных элементов и их соотношений, а также получения математических зависимостей их изменения в рассматриваемом диапазоне.

Таблица 1

Статистические данные по средним тунцеловным судам

№ п/п	Название и год постройки	L, м	B, м	H, м	T, м	M, т	G, т	V, уз	N _T	V _T , м ³	Производитель
1	Средний сейнер тунцеловный типа «Тибия» пр. 1348, 1986 г.	55,53	11,1	7,50	4,55	1488	265	13	8	361	СССР
2	Тунцеловное судно типа «Нереида» пр. 502А, 1966 г.	54,20	9,30	4,70	3,59	930	97	12	2	212	СССР
3	Тунцеловное судно типа «Нора», 1956 г.	41,50	7,50	3,50	2,95	582	60	10	2	133	Япония
4	Тунцеловный сейнер типа «Joturo», 1966 г.	55,33	9,10	4,25	3,96	1114 (DW)	-	13	-	509	Испания
5	Тунцеловный сейнер типа «Меро», 1966 г.	55,30	9,02	4,25	3,75	659 (DW)	-	13	-	555	Испания

Таблица 1. Продолжение

№ п/п	Название и год постройки	L, м	B, м	H, м	T, м	M, т	G, т	V, уз	N _T	V _T , м ³	Производитель
6	Тунцеловный сейнер типа «Castero», 1964 г.	55,28	9,05	4,25	3,58	-	-	13	-	576	Испания
7	Тунцеловный сейнер типа «Emperador», 1966 г.	55,25	9,02	4,25	3,75	659 (DW)	-	12	-	555	Испания
8	Тунцеловный сейнер типа «Damero», 1966 г.	55,03	9,05	4,25	3,90	659 (DW)	-	13	-	555	Испания
9	Тунцеловный сейнер типа «Arigua», 1967 г.	52,02	9,02	4,25	3,93	670 (DW)	-	15	-	500	Испания
10	Тунцеловный сейнер типа «Atun», 1962 г.	50,05	8,11	4,14	-	-	-	11	-	-	Испания
11	Тунцеловный сейнер типа «Jagua», 1970 г.	47,07	10,44	5,21	4,69	-	-	11	-	-	Испания

Также был выполнен анализ основных элементов и архитектурного исполнения современных зарубежных средних и больших тунцеловных судов, приведенных в табл.2. Установлено, что габаритные размеры современных тунцеловных судов, в основном лежат в диапазоне, от 60 до 100 м в длину и от 13 до 15 м в ширину. Учитывая современную тенденцию по увеличению главных размерений судов этого назначения, было принято решение об увеличении расчетной длины «Гибии» в первом приближении на 5 м. Для новых размерений судна были построены кривые элементов теоретического чертежа, произведен пересчет нагрузки масс и выполнен расчет начальной посадки судна. В результате расчетов было установлено, что осадка у нового судна увеличилась до 5,11 м.

Таблица 2

Статистика современных тунцеловных судов

№ п/п	Проект судна	Страна	Год постройки	L, м	B, м
1	Galerna Lau	Испания	2019	96,12	15,0
2	Tuna vessel by SENER Ingeniería y Sistemas	Испания	2018	82,10	14,2
3	Atlantic	Норвегия	2020	64,0	14,0
4	Langøy	Норвегия	2013	75,0	15,4
5	Geir	Норвегия	2020	63,0	13,5

Далее была выполнена проверка остойчивости на соответствие требованиям Правилам и классификации судов Российского морского регистра судоходства. Полученное судно удовлетворяет проверки по критерию погоды, проверки по статическому углу крена, проверки соответствия диаграмме статической остойчивости (ДСО), представленной на рис.1 и проверки начальной метacentрической высоты.

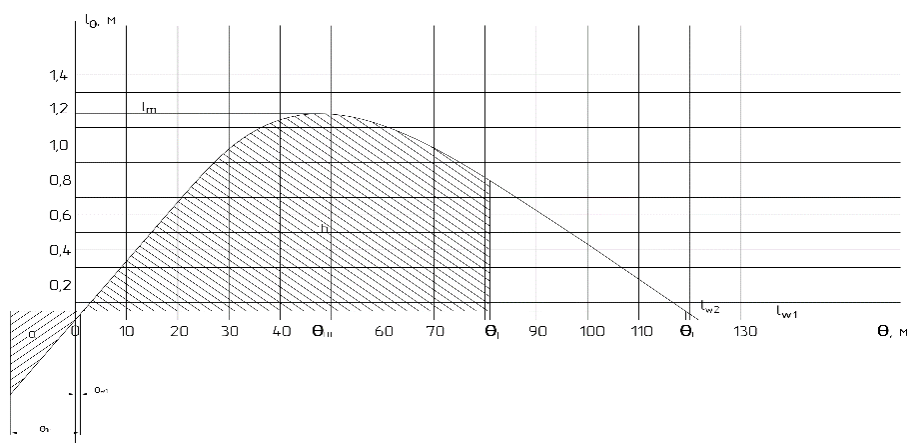


Рис.1. Диаграмма статической остойчивости судна

В ходе дальнейшей проработки, было принято решение, о необходимости выполнения расчета для афинно-увеличенного судна прототипа для еще четырех вариантов: 1 вариант: длина увеличена на 5 м, ширина – на 0,5 м; 2 вариант: длина увеличена на 10 м, ширина – на 1,0 м; 3 вариант: длина увеличена на 15 м, ширина – на 1,5 м; 4 вариант: длина увеличена на 20 м, ширина – на 2,5 м. Такое решение обосновано тем, что нет конкретного основания увеличения судна на величину, выбранную в первом приближении. Расширение размерного ряда позволит при рассмотрении мореходных качеств, а также технологичности и стоимости постройки в процессе проработки выбрать оптимальные габариты с наиболее приемлемыми характеристиками.

Для каждого варианта так же были построены теоретические чертежи и с помощью программы «Диалог-статика» выполнены расчеты кривых элементов теоретического чертежа (КЭТЧ). На рис.2 показан теоретический чертеж тунцеловного судна, увеличенного на 5 м, на рис.3 показаны КЭТЧ

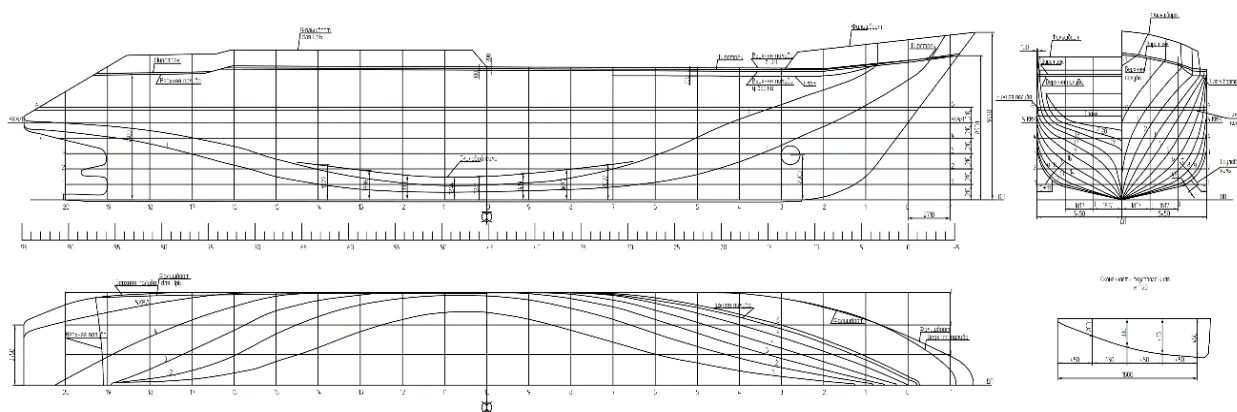
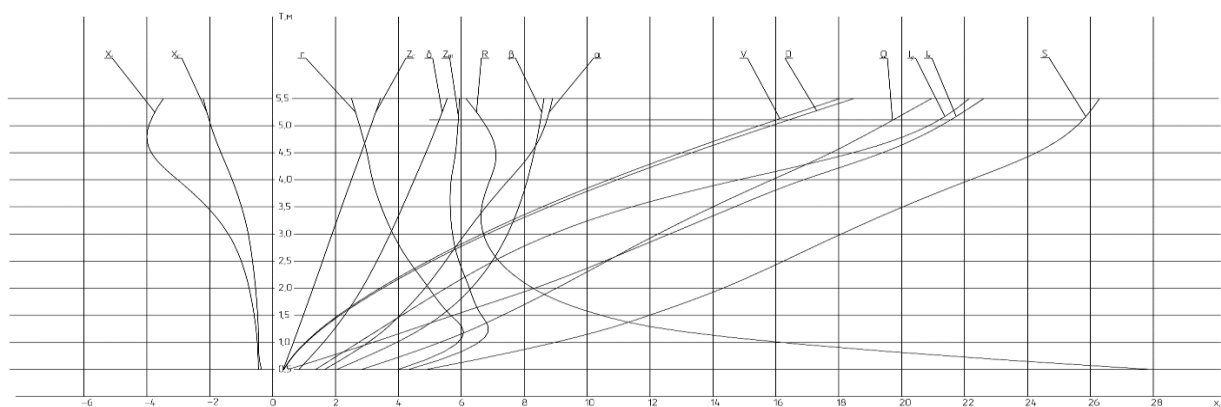


Рис.2. Теоретический чертеж тунцеловного судна, увеличенного на 5 м



S:	1см=20м ²	l _j :	1см=5000м ⁴	Z _{ni} :	1см=1м
V:	1см=100м ³	k _c :	1см=200м ⁴	Q:	1см=40м ²
Z _c :	1см=1м	r:	1см=1м		
α:	1см=0,1	R:	1см=10м		
β:	1см=0,1	X _f :	1см=1м		
δ:	1см=0,1	X _c :	1см=1м		

Рис.3. Кривые элементов теоретического чертежа судна, увеличенного на 5 м

По серийным диаграммам рассчитаны кривые буксировочного сопротивления на заданную скорость, в качестве которой в первом приближении принята аналогично судну-прототипу – 13 узлов, смотри рис. 4. Выполнены расчет гребного винта фиксированного шага и подбор главного двигателя (см.рис.5) и редуктора, характеристики которого представлены в табл.3.

Таблица 3

Характеристики редуктора

	Быстроходная ступень	Тихоходная ступень	Редуктор
Передаточное отношение, i	3,6	2,8	10,08
Число зубьев шестерни, Z	20	20	—
Число зубьев колеса, Z	72	56	—

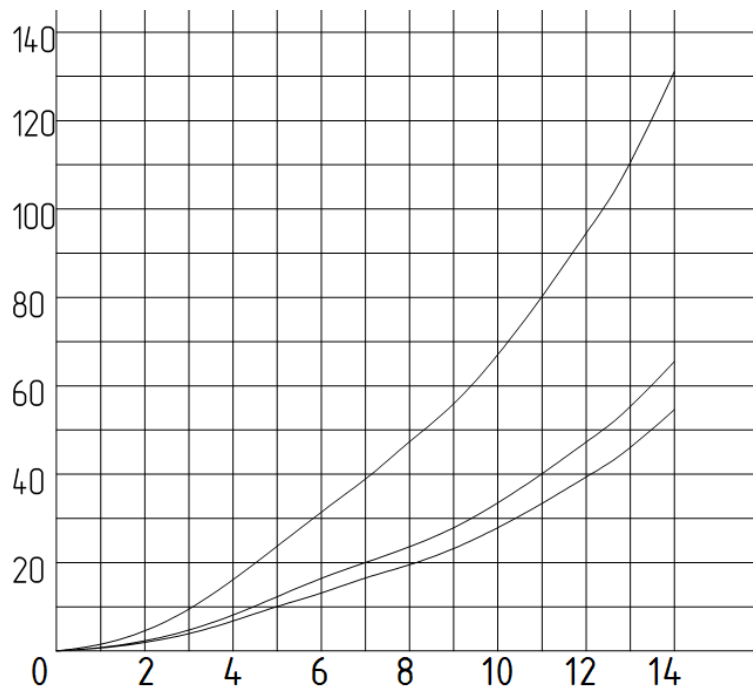


Рис. 4. Кривые буксировочного сопротивления

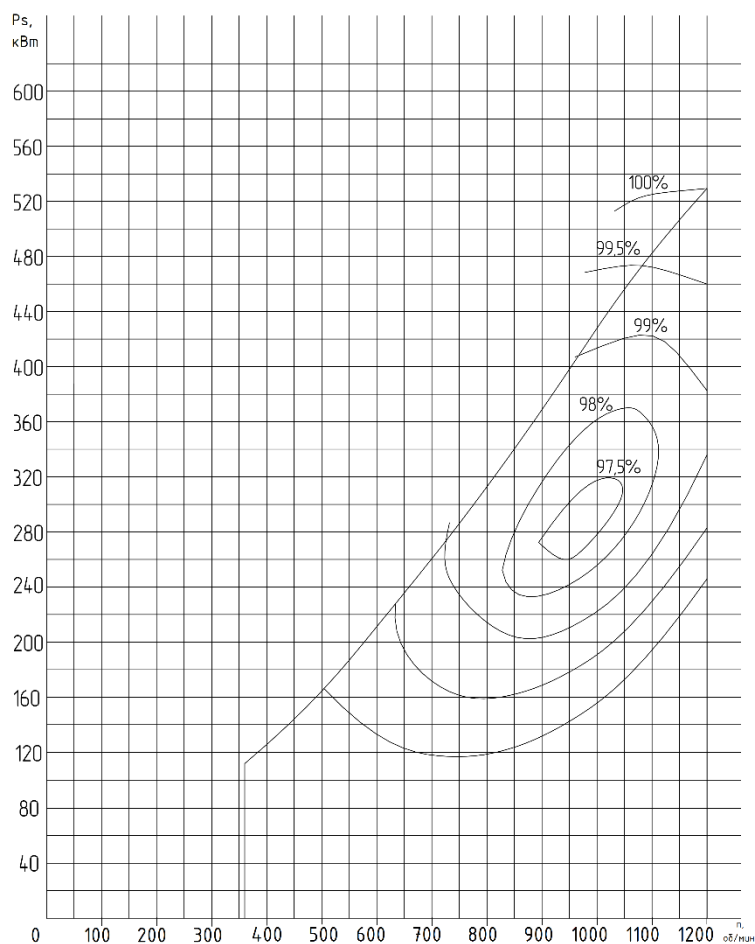


Рис. 5 Диаграмма двигателя

Одной из важных проектных задач являлась разработка цифровых моделей мидель-шпангоутов для всех вариантов изменения базового теоретического чертежа судна-прототипа. На рис. 6

представлена цифровая модель шпангоутов, для увеличенного на 5 м варианта базового проекта судна, а на рис.7 3D-модель корпуса.

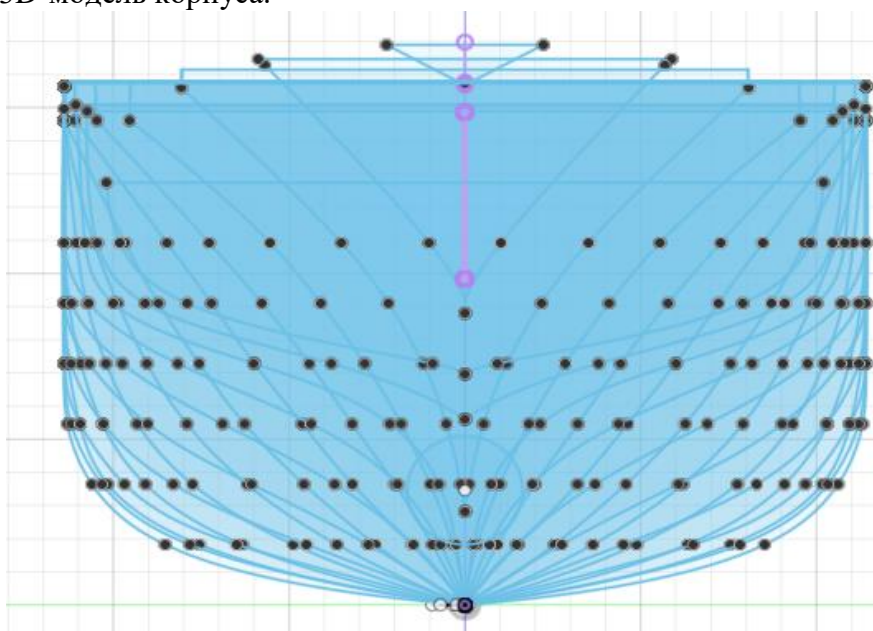


Рис. 6. Цифровая модель шпангоутов для варианта изменяемого базового проекта

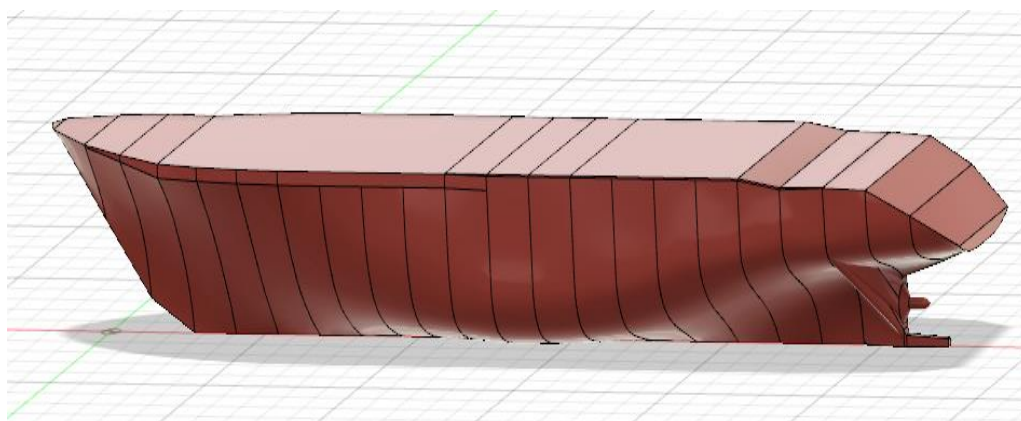


Рис. 7. 3D модель корпуса тунцеловного судна для варианта изменяемого базового проекта

Для принятия рационального решения о постройке судна необходимо иметь адекватную прогнозную оценку трудоемкости постройки судна. Зная трудоемкость можно оценить примерные сроки постройки судна и стоимость, что позволит впоследствии комплексно оценивать преимущества и недостатки каждого судна рассматриваемого размерного ряда. В табл.4 приведена оценка трудоёмкости постройки судна, увеличенного на 5 м, выполненная по РД.5Р.ГКЛII -0502-184.

Таблица 4

Оценка трудоёмкости постройки судна

Виды работ	Масса, т	Трудоёмкость удельная по нормативу, чел-ч/т	Коэф-нт	Трудоёмкость постройки	
				Удельная расчетная, чел-ч/т	Общая, чел-ч
Обработка деталей корпуса	678,3	18,08	–	18,08	12262
Предварительная сборка	678,3	67,76	0,8·1,05	56,92	38607
Формирование корпуса	678,3	82,83	1,1	91,11	61798
Трубомонтажные работы	82,1	385,22	1,2	462,26	37952
Механомонтажные работы	145,2	94,27	1,2	113,12	16425
Достроечные работы	950,0	40,43	1,2	48,51	46084
Испытания	950,0	18,32	–	18,32	17404
Всего трудоёмкость работ	–	–	–	–	230533
МСЧ	–	20%	–	–	57633

Таблица 4. Продолжение

Виды работ	Масса, т	Трудоёмкость удельная по нормативу, чел-ч/т	Коэф-нт	Трудоёмкость постройки	
				Удельная расчётная, чел-ч/т	Общая, чел-ч
Итого трудоёмкость постройки серийно освоенного судна	–	–	–	–	288166
Трудоёмкость постройки серийно освоенного судна с учетом $K_T = 0,91$	–	–	0,91	–	262231
Трудоёмкость постройки головного судна	–	–	1,7	–	445793

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создана база данных для вариационных исследований по выбору оптимальных проектных элементов и характеристик тунцеловного судна. Построены теоретические чертежи и кривые элементов теоретического чертежа.

Для рассмотренных вариантов суда, построены цифровые модели шпангоутов и выполнена проверка остойчивости на соответствие требованиям Правилам и классификации судов Российского морского регистра судоходства.

Для варианта изменяемого базового проекта построена 3D модель корпуса тунцеловного судна.

По серийным диаграммам рассчитаны кривые буксировочного сопротивления на заданную скорость, в качестве которой в первом приближении принята аналогично судну-прототипу – 13 узлов.

Выполнен расчет гребного винта фиксированного шага и выполнен подбор главного двигателя и редуктора.

Выполнен оценочный расчёт трудоёмкости постройки судна.

RECOGNITION OF BASIC ELEMENTS AND CHARACTERISTICS OF TUNA VESSEL AT THE EARLY STAGES OF DESIGN

¹ Lukyanova Olga Olegovna, master`s student of the Department of Shipbuilding

² Dyatchenko Sergey Vasilevich, Head of the Department of Shipbuilding, Doctor of technical sciences

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Russia, Kaliningrad,
e-mail: ¹svd.ks@mail.ru

The article presents the results of a statistical analysis that made it possible to determine the basic elements of medium tuna vessels, to choose a "prototype" vessel and to carry out variational studies to determine the basic elements of a tuna vessel when its estimated length changes. For the options under consideration, theoretical drawings, hydrostatic curves were constructed and digitized. According to the research results, the corresponding conclusions were drawn.

ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ И РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ ДЛЯ МАЛОМЕРНЫХ РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ

Назаров Альберт Георгиевич, канд. техн. наук, FRINA, CEng, MSNAME

КБ «Albatross Marine Design», Чонбури, Таиланд, e-mail: info@amdesign.co.th

Представлена систематизация методов выбора элементов конструкции корпуса для маломерных рыболовных судов. Выполнена серия расчетов нагрузок для судна длиной 15 м при варьировании скорости и района корпуса, по различным нормативам. На основе проведенного анализа выявлены различия в подходах между правилами зарубежных стандартов и классификационных обществ и российскими нормативными документами. Даны рекомендации по применению нагрузок для задач местной и общей прочности.

Введение

Повышение интереса судовладельцев к новым эффективным маломерным (т.е. имеющим длину $L < 20$ м и менее 12 человек на борту) промысловым судам подталкивает судостроителей к поиску новых решений в их проектировании, что связано с совершенствованием применяемых к судам нормативным документам. С точки зрения снижения массы и затрат на постройку и эксплуатацию, для таких судов перспективна замена металлических корпусов современными полимерными композиционными материалами. В этом случае, большое разнообразие материалов и возможных конструктивных решений вынуждает проектировщиков использовать все более совершенные расчетные методы.



Рис. 1. Судно пр. KFB13 построено в Корее для местного рынка (проект AMD), длина $L=13.3$ м, ширина $B=3.4$ м, полное водоизмещение $\Delta=12$ т. Корпус судна выполнен из композитных материалов. Габариты судна и архитектура обусловлены «вписыванием» проекта в ограничение по регистрационной вместимости

Основываясь на опыте разработки подобных проектов (рис.1), автором поставлена цель предложить проектировщикам работоспособные подходы к оценке расчетных нагрузок для судов длиной менее 20 м. Для этого, выполнен сравнительный анализ подходов к оценке прочности и требований ряда нормативных документов, используемых в отрасли.

Следует заметить, что национальные правила часто диктуют маломерным промысловым судам определенные архитектурные формы, пропорции и конструктивные решения. К таким нормам относятся искусственные ограничения длины либо тоннажа (рис.1), которые привязаны к определенным материалам и типам судов, и ограничивают введение новшеств.

Подходы к оценке прочности

В практике постройки маломерных промысловых судов существуют ряд исторически сложившихся подходов.

- Выбор элементов конструкции в соответствии с хорошо зарекомендовавшим себя судном-прототипом. Этот подход и сегодня широко используется для постройки промысловых судов в развивающихся странах.

- При директивном подходе в зависимости от длины судна, участка корпуса, материала и т.д. директивно назначается шпация, толщины обшивки и сечения набора. Исторически, подобный метод применялся всеми классификационными обществами. На сегодняшний день, подход представлен в правилах NBS [1] для «упрощенный», в правилах РС [2] для судов из стеклопластика и т.д. Преимущество этих методов - в простоте использования для судов устоявшихся типов. Однако оптимизация конструкции, учет скоростных режимов и применения новых материалов при таком подходе невозможны.

- Упрощенный расчет используется в ряде нормативных документов и руководств, он позволяет определять толщины и сечения конструктивных элементов по эмпирическим формулам или таблицам/графикам, в зависимости от размерений судна, а также размеров пластин обшивки и балок набора. Например, организация FAO [3] (подразделение ООН) во взаимодействии с ИМО разработала рекомендации [4], где этот подход применен для промысловых судов из стеклопластика. с использованием «конструктивной характеристики» - величины $L \times B \times D$. В правилах Корейского Регистра присутствует подобный подход для судов из стеклопластика. В стандартах ISO12215-5:2008 [5] метод использован для судов длиной до 12м. Преимущества методов этой группы – в простоте использования, но они делают невозможным применение новых конструктивных решений.

- Метод испытаний применяется в виде постановки на опоры, налива воды, сбрасывания с высоты, удар бортом о стенку и т.д. Например, подобные методы применяются для спасательных шлюпок и лодок с надувными бортами (RIB) по ISO6185 [6], а также рекреационных судов длиной менее 6м по ISO12215-5 [5,7]. Подробный анализ этих методов представлен автором в [8]. Основной недостаток: применение метода подразумевает избыточные запасы прочности.

- Инженерные расчеты прочности основаны на физических принципах движения судов, применении строительной механики корабля на основе расчетных нагрузок. Эти методы применяются в профессиональном проектировании и позволяют создавать конструкции из различных материалов, для судов в широком диапазоне скоростных и мореходных качеств.

При оценке прочности инженерными методами принято выделять а) местную прочность, б) общую прочность и в) прочность элементов. Следует заметить, что в отличие от крупных судов, общая прочность для маломерных судов практически никогда не является определяющей, и обеспечивается с 10...30-кратным запасом [9,10]. Как правило, нормированию в правилах подлежат нагрузки для а) и иногда б), а группа задач в) при необходимости рассматривается на основе прямых инженерных расчетов.

Расчетные нагрузки для оценки местной прочности

Расчетные нагрузки для местной прочности принято представлять в виде распределенного давления на пластины и балки набора. Расчетные давления можно условно разделить на: гидростатические (на тихой воде), волновые (вызванные воздействием волн и качки судна), слеминговые (ударные, при движении скоростного судна), нагрузки от пассажиров и палубного груза, нагрузки от перемещения жидкостей в цистернах и т.д.

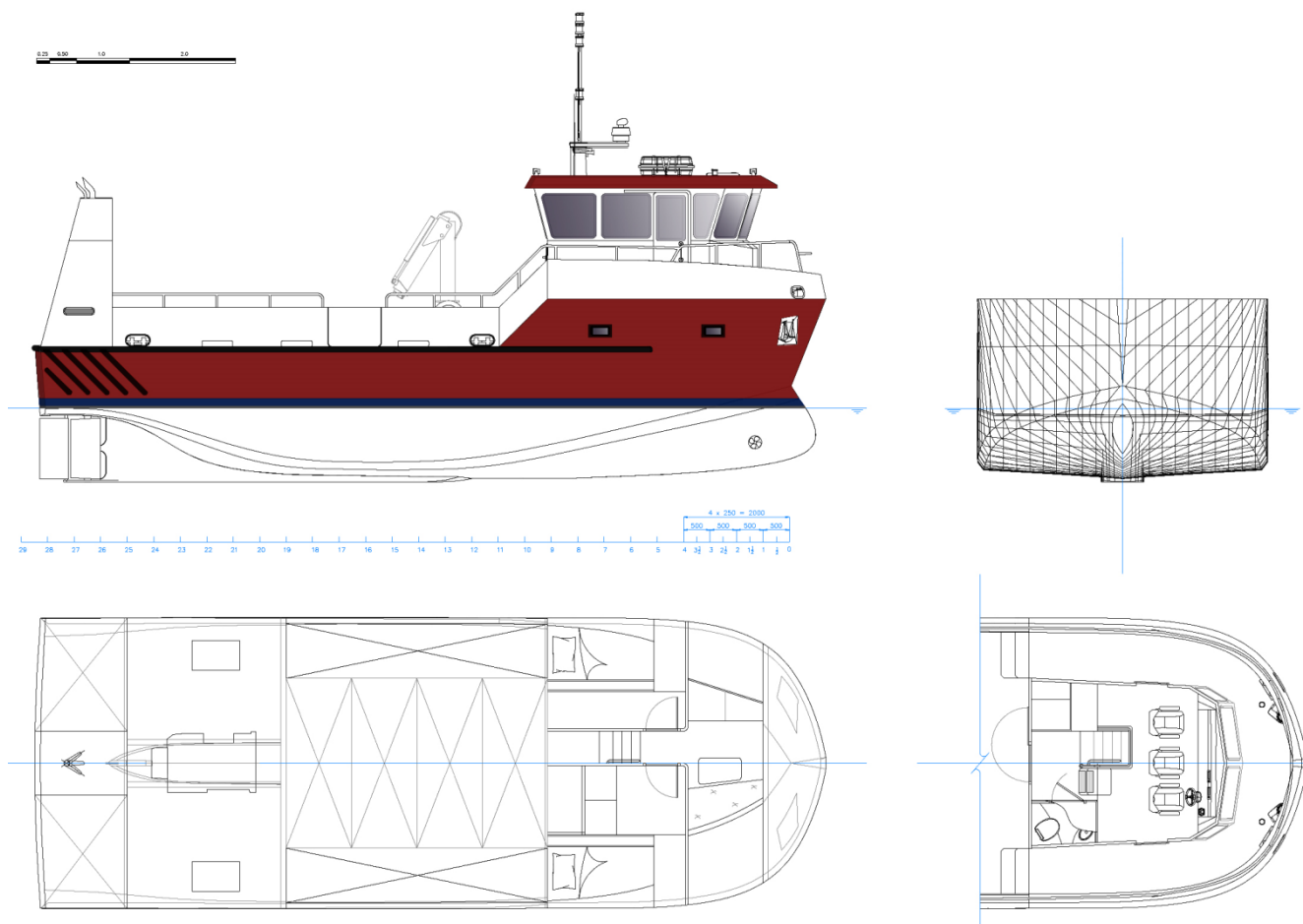


Рис.2. Рыболовное судно пр.М15СF (проект AMD), $L=14.98\text{м}$, $B=5.6\text{м}$, $\Delta=63\text{т}$. Корпус судна - из алюминиевого сплава, характеристики обусловлены «вписыванием» проекта длину 15м для скандинавского рынка

Гидростатические давления p обычно определяются на случай погружения судна в воду до уровня водонепроницаемой палубы, либо до уровня минимального надводного борта. При этом, к ним вводятся различные поправки, например в оконечностях судна, волновой коэффициент и т.д.

В стандартах ISO [5,7] и правилах [11,12,13] основой для расчета нагрузок являются вертикальные ускорения a , испытываемые судно при движении на волнении. Формула для расчетных давлений в зоне слеминга описывает падение судна весом Δ с ускорением a на характерную площадь LB_c :

$$p = \frac{\prod k_i \Delta a}{LB_c}$$

где $\prod k_i$ – группа коэффициентов, учитывающий район корпуса, размер пластины, характерную площадь и т.д. В зарубежной практике, для расчета местной прочности в большинстве правил используются широко известные результаты исследований Хеллера-Джаспера и Аллена-Джонса (см.[14]) по тензометрированию корпусов судов.

Автором выполнена серия измерений a и p на натуральных судах; например, в работе [15] проанализированы экспериментальные данные для судна длиной 8м и выполнено их сравнение расчетными нагрузками по различным правилам. Результаты этих исследований свидетельствуют о достоверности расчетных нагрузок, применяемых GL [12] и ISO [5]; нагрузки по LR [11] несколько завышены.

Методика оценки нагрузок ГИМС [16] отличается от других тем, что в выражении для p присутствует множитель $v^2 L^{0.5}$, где v - скорость судна, м/с; как будет показано в дальнейшем, это приводит к неверным результатам.

Автором выполнена оценка расчетных нагрузок на промысловое судно (рис.2) длиной 15м (проект AMD) по различным правилам:

- Стандарты ISO12215-5 2008 [5] и 2019 [7] годов, предназначенные для судов длиной до 24м, главным образом рекреационных, а также с 2019 года – служебных и рабочих. Заметим, что применение этих стандартов допускается Российским морским регистром для расчетов прочности высокоскоростных судов.

- Стандарт DNVGL0342 [13] предназначенный для коммерческих судов длиной до 24м.

- Правила GL Yacht boats [12] предназначенный для судов рекреационного и рабочего назначения длиной до 24м.

- Правила NBS [1], применяемые в Скандинавских странах для промысловых судов длиной до 15м.

- Правила LR SSC [11], применяемые для всех типов «специальных» судов.

- Правила ГИМС 2004 [16] для маломерных судов, редко применяемые на практике.

- Правила РС для малых рыболовных судов [17].

- Правила РС для судов из стеклопластика (в варианте до 2017г), (в настоящее время входят в [2]), включающие расчетные нагрузки для судов длиной до 30м;

- Правила РС для морских прогулочных судов [2], редко используемые на практике.

Рассчитывались нагрузки p на пластину обшивки в носовой, миделевой и кормовой части, для борта и днища; также варьировалась расчетная скорость судна (рис.3,4). В правилах, по которым предусмотрены категории судов, расчет выполнен для наиболее высокой категории. Полученные результаты можно сгруппировать в три группы, по значениям получившихся величин p .

- Правила, основанные только на гидростатических и волновых нагрузках дают заниженные значения p в области высоких скоростей – в первую очередь, это правила РС [2,17].

- Правила, учитывающие ускорения при движении судна, достоверно учитывают нагрузки во всем диапазоне рассмотренных скоростей [5,7,11,12,13].

- По правилам ГИМС [16] получаются значения p , завышенные на один-два порядка и не согласующиеся с другими методами и с практикой.

Учитывая, что большинство современных промысловых судов проектируются на движение на верхней границе водоизмещающего или в переходном режиме, при проектировании конструкций следует избегать методов расчета прочности, основанных исключительно на гидростатических нагрузках.

Расчетные нагрузки для оценки общей прочности

Расчеты общей прочности предусмотрены не во всех рассмотренных в предыдущем разделе правилах. В целом, расчет сводится к проверке изгибающего момента, и иногда - перерезывающей силы при общем продольном изгибе. Существуют следующие подходы к назначению изгибающего момента:

- Упрощенно момент представлен в виде $M=f(\Delta L)$, например, для судов из стеклопластика в [2]. Подобный подход имитирует постановку судна на два кильблока, что для большинства маломерных судов является наихудшим случаем в части продольной остойчивости.

- Момент назначается упрощенно, с учетом действующего ускорения - ISO12215-6 [18] или DNVGL0342 [13], где $M=f(a, \Delta, L)$. Подобный подход имитирует приводнение на вершину или подошву волны на высокой скорости, и характерен для скоростных судов.

- Изгибающие моменты с учетом распределения масс по длине судна, а также высоты и профиля волны [16]. Апофеозом подобного подхода служит РД5.1186-90 [19], где вычисление изгибающих моментов занимает несколько страниц и включает интегрирование характеристик теоретического чертежа – заведомо избыточный подход для малых судов, тем более что приводимые в РД номограммы не покрывают диапазон соотношений главных размерений современных судов.

- Моменты назначаются с учетом прочих эксплуатационных случаев, например подъема судна стропами (в том числе, залитого водой), постановки на кильблоки и т.д.

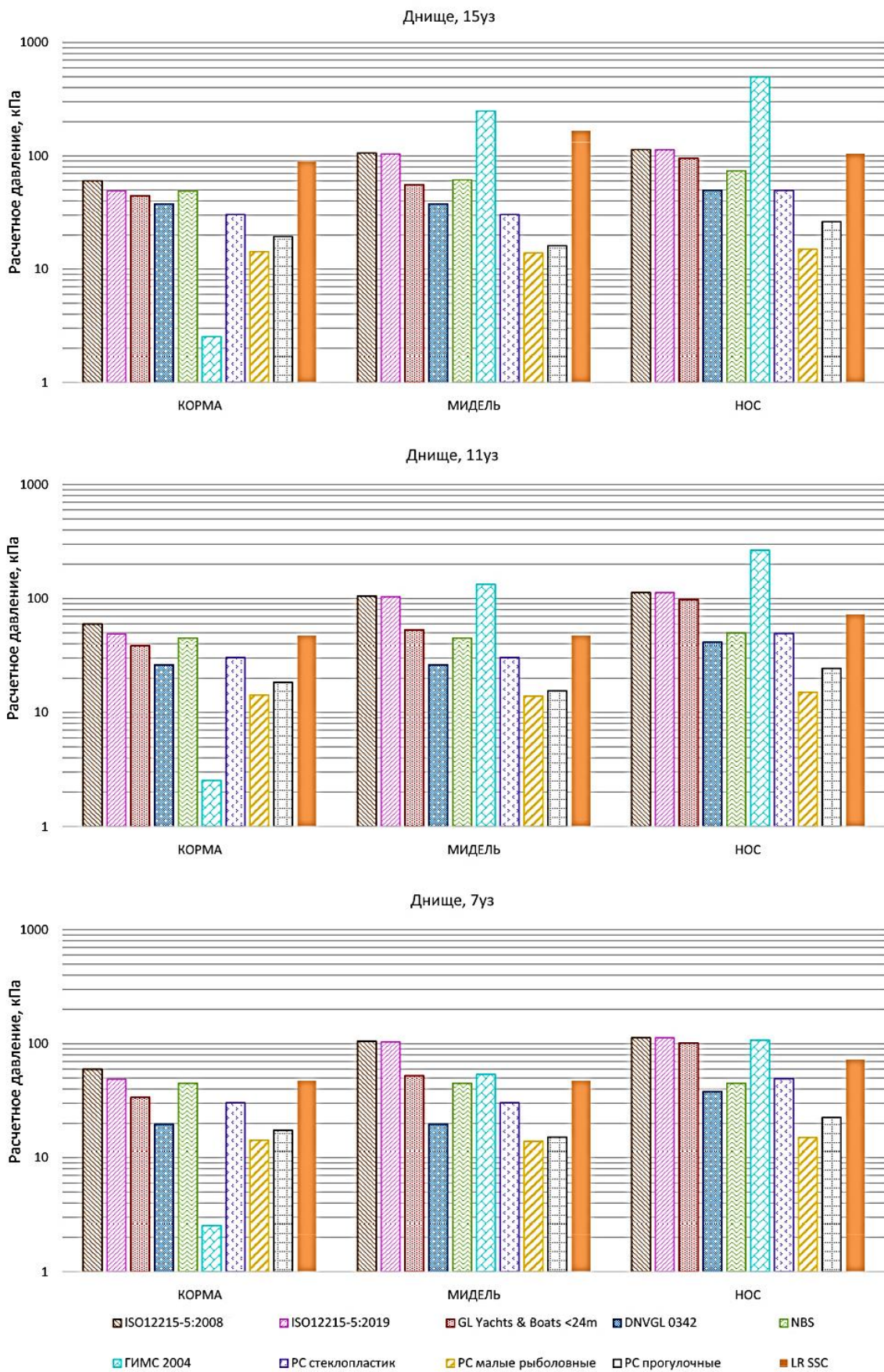


Рис.3. Расчетные давления на днище при варьировании скорости судна

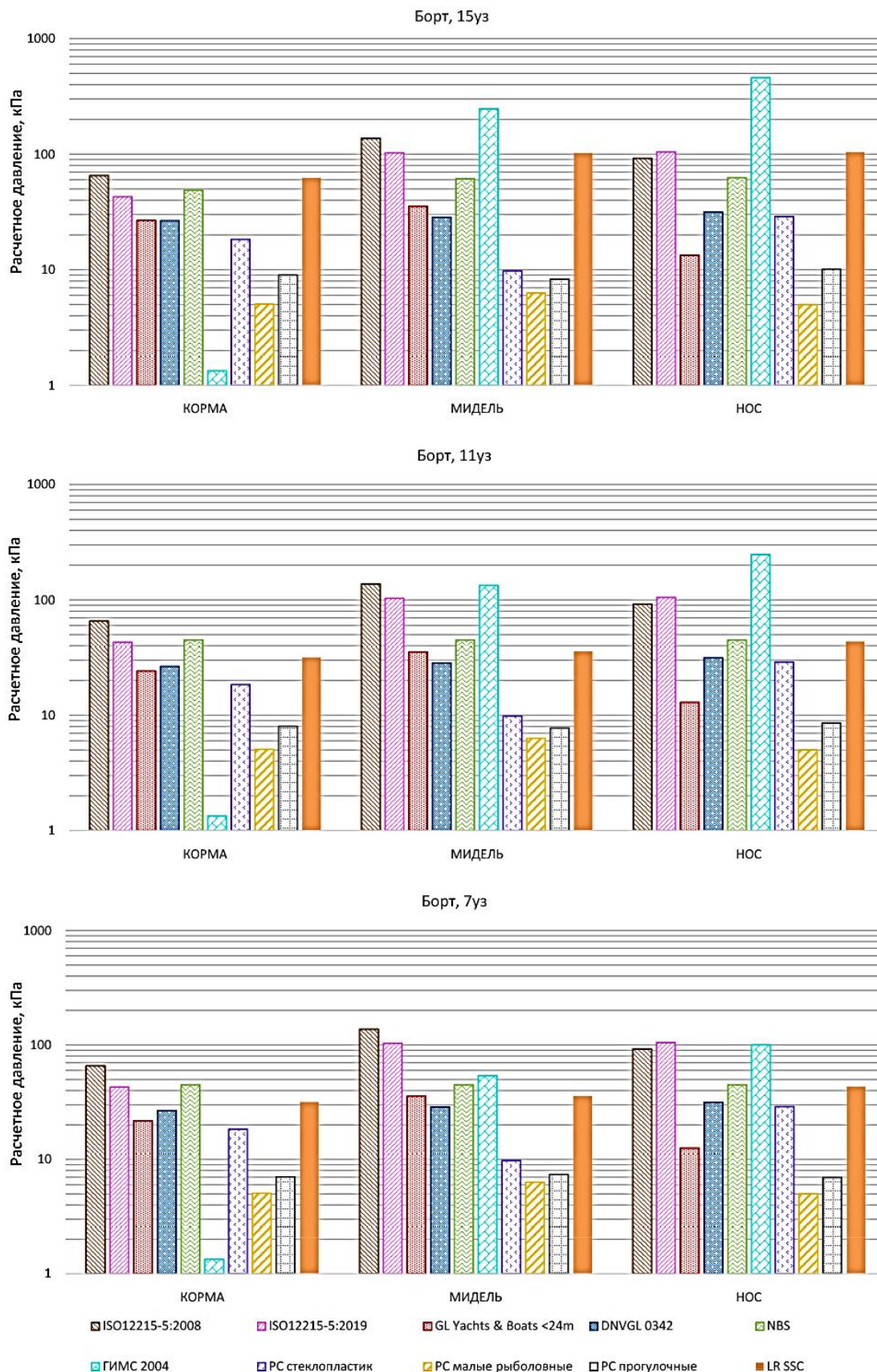


Рис. 4. Расчетные давления на борта при варьировании скорости судна

Сравнение полученных M для рассматриваемого судна показывает (рис.5), что существует значительный разброс в нормативах. Из практики расчетов, для большинства судов с учетом характерных отношения D/L высоты борта к длине продольный изгиб не является определяющим случаем для выбора конструктивных элементов. Проверка продольной прочности актуальна лишь для судов имеющих $D/L < 0.05$.

В любом случае, сложная структура формул для продольного изгибающего момента на волнении, а также требуемый в ряде документов учет распределения масс по длине судна не оправдывается как точностью подобных проверочных расчетов, так и особенностями динамики маломерных судов. Для них, вполне достаточно применение формул первого типа, или второго типа - если рассматривается приводнение на волну на высокой скорости.

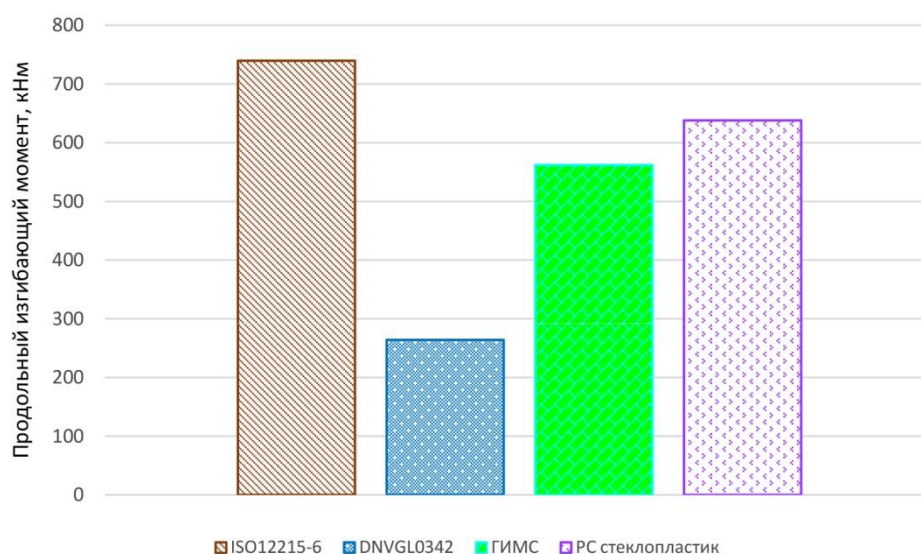


Рис. 5. Расчетный продольный изгибающий момент

Заключение

Казалось бы, расчетные нагрузки должны приводятся в нормативных документах в комплексе с методиками расчета пластин, балок набора и т.д., а также используемыми критериями и запасами прочности. Это объясняло бы разброс в значениях расчетных нагрузок; а при сравнении методик следовало бы исходить из получающихся сечений и толщин конструкций. Например, для слеминговых нагрузок имеет значение обеспеченность вертикальных ускорений и соответственно давлений на днище [14] – величины нагрузок будут отличаться в зависимости от принятой обеспеченности. Ведущие классификационные общества приводят обеспеченность нагрузок в своих нормах, чтобы можно было соотнести результаты натурных и модельных испытаний с используемыми нормативными значениями. Однако для маломерных судов это не всегда так, и в ряде документов расчетные нагрузки приведены «сами по себе», без указания обеспеченности и без «привязанных» к ним методик расчетов.

Местная прочность является определяющей при проектировании конструкций маломерных судов. При выполнении расчетов следует избегать методов определения расчетных нагрузок, ориентированных исключительно на гидростатические давления. Показано, что подобные методы дают недостоверный результат, особенно с ростом скорости проектируемых промысловых судов. Для судов, движущихся в режиме высоких относительных скоростей, предпочтение следует отдавать методам, учитывающим вертикальное ускорение при движении на волнении.

Оценка общей продольной прочности для большинства маломерных судов вторична; при необходимости ее выполнения продольный изгибающий момент может быть определен по упрощенным формулам, например из условия постановки судна на две опоры.

Результаты выполненного автором анализа расчетных нагрузок могут быть использованы для совершенствования нормативных документов, используемых в РФ. Как видно из результатов, применение некоторых редко используемых и недостаточно опробованных нормативных документов без сравнения полученных результатов с нормами-аналогами может привести к недооценке нагрузок и как следствие - к катастрофическим последствиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nordic Boat Standard. Commercial Boats less than 15 metres - 1990.
2. Правила классификации и постройки прогулочных судов. НД №2-020101-110. Российский морской регистр судоходства, 2018.
3. Fishing boat construction: 2. Building a fibreglass fishing boat. FAO Fisheries technical paper 321. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1991.
4. Safety Recommendations for Decked Fishing Vessels of Less than 12 metres in Length and Undecked Fishing Vessels/IMO & FAO, 2012.
5. ISO-12215 - 5:2008 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
6. ISO 6185:2001 - Inflatable boats — Part 3 Boats with a maximum motor power rating of 15 kW and greater.
7. ISO-12215 - 5:2019 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 5 design pressures, design stresses, scantling determination.
8. Small Craft Design for Drop Test: Case Study/Nazarov A., Tapee S., Prapset P., Chattawan S. // SURV 10 - Surveillance, Search and Rescue Craft, 13-14 January 2021, RINA, London
9. Nazarov A. Composite High Speed Craft: Practical Design Approaches// 4th Chesapeake Power Boat Symposium - Annapolis, USA, 2014.
10. Sheno R.A., Wellicome J.F. Composite materials in maritime structures. Vol. 1-2. Ocean technology series, Cambridge University Press, 1993.
11. Rules and Regulations for the Classification of Special Service Craft. Lloyd's Register, 2020.
12. Rules for Classification and Construction of Special Craft, Part 3 - Yachts and Boats up to 24m. - Germanischer Lloyd, 2012.
13. DNVGL-ST-0342 – 2016.
14. Savitsky D., Koelbel J.G Seakeeping of Hard Chine Planing Hulls//SNAME, SC1, June 1993.
15. Experimental assessment of Impact Loads on Catamaran Structures/Nazarov A. Suebyiw P., Piamalung A. // Design & Operation of Wind Farm Support Vessels, 28-29 January 2015, London, UK - p.75-84.
16. Правила классификации, постройки и обеспечения эксплуатационной безопасности морских судов, поднадзорных Государственной инспекции по маломерным судам Российской Федерации. Москва, 2004.
17. Правила классификации и постройки малых морских рыболовных судов. НД №2-020101-148. Российский морской регистр судоходства, 2021.
18. ISO 12215 - 6 Small craft - Hull construction and scantlings - Part 6: structural arrangements and details.
19. Руководящий документ. Корпуса и корпусные конструкции из стеклопластика. Правила проектирования и методические указания по расчетам прочности. РД 5-1186-90.

APPROACHES TO ASSESSMENT OF STRENGTH AND DESIGN LOADS FOR SMALL FISHING CRAFT

Nazarov Albert Georgievich, PhD, FRINA, CEng, MSNAME

DB «Albatross Marine Design», Chonburi, Thailand, e-mail: info@amdesign.co.th

The paper presents systematization of methods of structural elements selection for hulls of small fishing craft. Series of calculations of design loads for 15m craft was performed with variation of speed and hull area, with use of different norms. Based on analysis made, differences in approaches are highlighted between foreign standards and rules of classifications societies, and Russian normative documents. Recommendations are provided on loads application for local and global strength problems.

ВЛИЯНИЕ ПЕРФОРАЦИИ НА ЧАСТОТУ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛОК

Притыкин Алексей Игоревич, докт. техн. наук, профессор кафедры кораблестроения

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: prit_alex@mail.ru

В справочной литературе приводятся расчетные зависимости для частот свободных колебаний балок со сплошной стенкой. В то же время в строительной практике и судостроении широко распространены балки с перфорированной стенкой. В статье приведена аналитическая зависимость для оценки частот свободных колебаний перфорированных балок с круглыми вырезами. Проведен сравнительный анализ МКЭ однопролетных балок разного конструктивного оформления, подтвердивший удовлетворительную точность полученной формулы.

Расчет колебаний балок и стержней

В различных справочниках [1, 2], как и современных публикациях [4-6], содержатся аналитические зависимости для собственных частот колебаний балок с разным видом закрепления концов. Однако нигде не приводятся данные по собственным колебаниям перфорированных балок, широко применяемым как в строительстве, так и в судостроении. Целью данной работы было получение удобной для инженерных расчетов аналитической зависимости для частот собственных колебаний перфорированных балок при разных параметрах перфорации. Выяснение корректности полученной зависимости производилось путем сопоставления результатов с данными расчетов МКЭ. Проведено также сравнение частот с аналогичными величинами балок со сплошной стенкой. Анализ проводился методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS, для чего была составлена программа на языке APDL [3], позволившая производить расчеты колебаний как балок с вырезами, так и со сплошной стенкой. Для проверки надежности работы программы были проведены расчеты балок без вырезов, поскольку имеются теоретические зависимости, с которыми можно сравнить результаты МКЭ.

1.1. Расчет балок со сплошной стенкой

Балку со сплошной стенкой будем обозначать как $l - h_w - t_w - b_f - t_f$, где высота стенки $h_w = H - t_f$, H – полная высота балки; t_w и t_f – толщина стенки и полки соответственно; b_f – ширина полки.

Как известно, частота собственных колебаний свободно опертых балок определяется зависимостью [1]

$$f_{c.o} = \frac{n^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{EI / m}, \quad (1)$$

где E , I , m – модуль Юнга, момент инерции сечения и погонная масса балки соответственно; n – номер тона колебаний. Величину m можно представить в виде

$$m = (2b_f t_f + h_w t_w) \rho, \quad (2)$$

где $(2b_f t_f + h_w t_w)$ – площадь поперечного сечения балки; ρ – плотность материала балки. В дальнейших расчетах плотность стали будем принимать равной $\rho = 7800 \text{ кг} / \text{м}^3 = 7.8 \cdot 10^{-9} \text{ Нс}^2 / \text{мм}^4$.

Момент инерции I двутавровой симметричной балки может быть приближенно подсчитан как

$$I = b_f t_f h_w^2 / 2 + h_w^3 t_w / 12. \quad (3)$$

Подставляя (2) и (3) в (1), получим

$$f_{c.o.} = \frac{n^2 \pi^2 h_w}{l^2} \sqrt{0.5E(\alpha + 0.167) / ((2\alpha + 1)\rho)}, \quad (4)$$

где $\alpha = b_f t_f / h_w t_w = A_f / A_w$ - соотношение площадей полки и стенки.

Для 1-го тона колебаний, соответствующего низшей частоте f , надо принять $n = 1$. Зависимость (4) справедлива и для балки прямоугольного сечения, если в ней положить $\alpha = 0$.

Проверить приемлемость зависимости (4) надежнее всего, воспользовавшись методом конечных элементов. При сравнении величин f , полученных аналитически, и величин частот ω , полученных из расчетов МКЭ следует помнить, что f - круговая частота колебаний, т. е. частота колебаний за 2π секунд, а в расчетах МКЭ частота колебаний ω определяется в герцах, т. е. числом колебаний в секунду. Связь между f и ω имеет вид

$$\omega = f / 2\pi. \quad (5)$$

Поэтому при сопоставлении результатов расчета по аналитической зависимости и по МКЭ надо согласно (5) f делить на 2π . В дальнейшем для возможности сопоставления результатов по аналитической зависимости и по МКЭ без пересчета все расчеты будем производить в герцах и для частот, полученных разными методами, использовать обозначения $\omega_{c.o.}^{meop}$ и $\omega_{c.o.}^{МКЭ}$, где верхний индекс указывает метод расчета, а нижний – характер опирания балки. Для свободно опертой двутавровой балки величина $\omega_{c.o.}^{meop}$ согласно (4) и (5) примет вид

$$\omega_{c.o.}^{meop} = \frac{n^2 \pi h_w}{2l^2} \sqrt{0.5E(\alpha + 0.167) / ((2\alpha + 1)\rho)}. \quad (6)$$

Поскольку чаще всего нас интересуют первые частоты колебаний, то в зависимости (6) в дальнейшем будем принимать $n = 1$. Для свободно опертой двутавровой балки со сплошной стенкой $205 - 75 - 1.52 - 17 - 1.52$ см расчет по (6) при значении модуля Юнга $E = 210$ ГПа приводит к значению

$$\omega_{c.o.}^{meop} = \frac{3.14 \cdot 0.75}{2 \cdot 20.25^2} \sqrt{0.5 \cdot 2.1 \cdot 10^{11} \cdot (0.227 + 0.167) / ((2 \cdot 0.227 + 1) \cdot 7.8 \cdot 10^3)} = 5.49 c^{-1}. \quad (7)$$

Расчет МКЭ первого тона колебаний этой же балки с использованием четырехугольных конечных элементов Shell63 размерами $\Delta_{КЭ} = h_w / 30$ приводит к значению $\omega_{c.o.}^{МКЭ} = 5.67$ Гц (рис.1а), что указывает на расхождение с $\omega_{c.o.}^{meop} = 5.49$ Гц (7) в 3.2%. Для второго тона колебаний имеем значения $\omega_{c.o.}^{МКЭ} = 21.53$ Гц (рис.1б) и $\omega_{c.o.}^{meop} = 21.96$ Гц, что приводит к расхождению в 2%.

Соотношение между частотами 1-го и 2-го тона по МКЭ равно 3.79, а не 4-м, как это следует из зависимости (6). Проверим частоты колебаний балки прямоугольного сечения (рис.2). Тогда формулу (6), в которой в этом случае положим $\alpha = 0$, $n = 1$ можно переписать в виде

$$\omega_{c.o.}^{meop} = \frac{\pi h_w}{4l^2} \sqrt{E / 3\rho}. \quad (8)$$

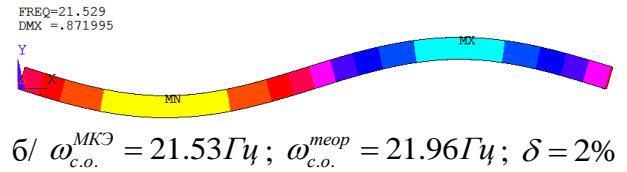
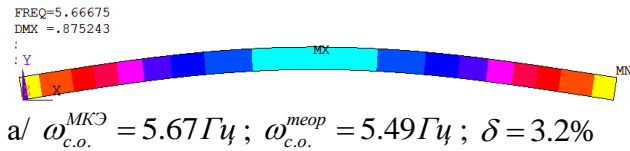


Рис. 1. Частоты колебаний двутавровой балки 20250–750–15.2–170–15.2мм :
а/ 1-ый тон колебаний; б/ 2-ой тон колебаний

Подстановка в (8) размеров балки приводит к значению

$$\omega_{c.o.}^{теор} = \frac{\pi \cdot 750}{4 \cdot 20250^2} \sqrt{2.1 \cdot 10^5 / (3 \cdot 7.8 \cdot 10^{-9})} = 4.31 \text{ Гц}, \quad (9)$$

отличающемся от расчета МКЭ $\omega_{c.o.}^{МКЭ} = 4.52 \text{ Гц}$ (рис.2а) на 4.6%. Как видно из (8), для балки прямоугольного сечения ω не зависит от ширины сечения, а только от отношения h_w / l^2 . Если это

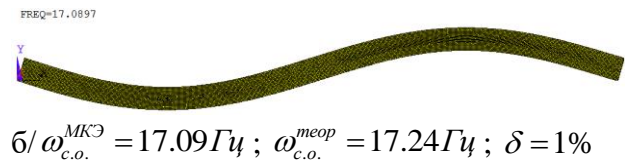
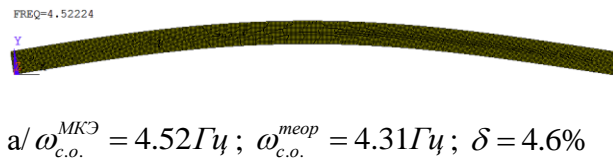


Рис.2. Частоты колебаний прямоугольной балки 20250–750–15.2мм ; а/ 1-ый тон колебаний;
б/ 2-ой тон колебаний

соотношение будет постоянным, то и частота колебаний не изменится. Расчеты МКЭ балок размерами $l-h_w-t = 900-75-75$ мм, $900-75-40$ мм и $1039-100-40$ мм, у которых постоянное соотношение h_w / l^2 , подтверждают это утверждение. На рис.2б приведена форма колебаний второго тона прямоугольной балки, из которого видно, что и в этом случае частота колебаний, определяемая по (8), дает близкий результат с расчетом МКЭ.

1.2. Расчет перфорированных балок

Перфорированную балку будем обозначать как $l-h_w-t_w-b_f-t_f-\beta-\xi$, где в дополнение к обозначениям, принятым для балки со сплошной стенкой, введены величины $\beta = d / h_w$ - относительная высота вырезов и $\xi = c / d$ - относительная ширина перемычки; d - диаметр вырезов.

Если сравнивать перфорированную балку с балкой без вырезов тех же размеров, то отличается она моментом инерции сечения $I_{перф}$ и погонной массой $m_{перф}$. Тогда согласно (1) запишем

$$f_{c.o.}^{перф} = \frac{n^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{EI_{перф} / m_{перф}}. \quad (10)$$

Если принять величину $I_{перф}$ равной среднему значению между моментом инерции балки со сплошной стенкой (3) и моментом инерции по вырезу, то получим

$$I_{перф} = 0.5 h_w^3 t_w (A_f / A_w + (1 - 0.5 \beta^3) / 6). \quad (11)$$

Величину $m_{перф}$ можно определить как

$$m_{перф} = (2A_f + A_w - \pi(\beta h_w)^2 t_w / 4s) \rho, \quad (12)$$

где s - шаг вырезов.

Подстановка (11) и (12) в (10) с учетом (5) дает

$$\omega_{c.o.}^{перф} = \frac{n^2 \pi}{2l^2} \sqrt{E0.5h_w^3 t_w (A_f / A_w + (1 - 0.5\beta^3) / 6) / ((2A_f + A_w - \pi(\beta h_w)^2 t_w / 4s) \rho)}. \quad (13)$$

Принимая во внимание, что шаг вырезов $s = \beta h_w (1 + \xi)$, из (13) получим

$$\omega_{c.o.}^{перф} = \frac{n^2 \pi h_w}{2l^2} \sqrt{E0.5(\alpha + (1 - 0.5\beta^3) / 6) / ((2\alpha + (1 - \pi\beta / (4(1 + \xi)))) \rho)}. \quad (14)$$

Нетрудно видеть, что зависимость (14) при отсутствии вырезов, т. е. при $\beta = 0$, сводится к формуле (6) для балки со сплошной стенкой.

На рис.3а приведены результаты расчета МКЭ свободно опертой балки 20250–750–15–170–15мм при отсутствии вырезов. Частота первого тона равна $\omega_{c.o.}^{МКЭ} = 5.58 Гц$, а вычисления по (14) дают $\omega_{c.o.}^{теор} = 5.39 Гц$, что указывает на расхождение в значениях $\delta = 3.4\%$. Расчет МКЭ перфорированной свободно опертой балки тех же размеров с параметрами 20250–750–15–170–15мм–0.667–0.5 (рис.3б) дает $\omega_{c.o.}^{МКЭ} = 6.02 Гц$, а по (14) получим $\omega_{c.o.}^{теор} = 5.98 Гц$. Различие в частотах для перфорированной балки не превышает величины $\delta = 0.5\%$.

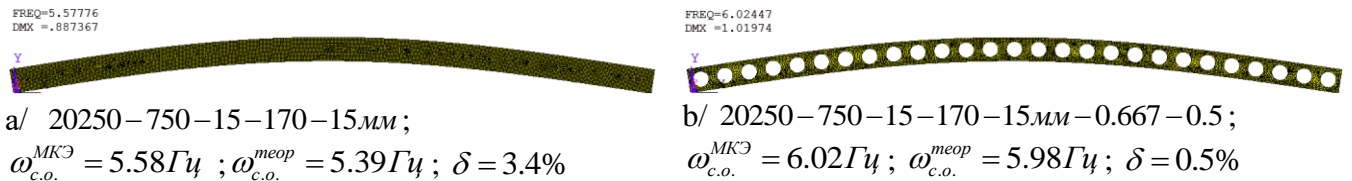


Рис. 3. Частоты колебаний двутавровой балки: а/ сплошной; б/ перфорированной

Как видно из приведенных результатов, наличие перфорации повышает частоту колебаний примерно на 8%, по сравнению с балкой со сплошной стенкой.

Из (14) следует, что при одинаковых габаритных размерах балки влияние одной и той же перфорации на частоту свободных колебаний балки будет разным в зависимости от соотношения площадей полки и стенки $\alpha = A_f / A_w$. Проанализируем это влияние на балке тех же габаритных размеров, но с более тонкой стенкой 20250–750–6–170–15мм–0.667– ξ . Из представленных на рис.4 результатов видно, что эффект перфорации проявляется тем меньше, чем больше соотношение площадей полки и стенки при заданной высоте балки. Если для балки с величиной $\alpha = 0.231$ (рис.3) наличие вырезов повышает частоту колебаний примерно на 8%, то для балок с $\alpha = 0.578$ (рис.4) это повышение не достигает и 4%.

Следует отметить, что перфорация балок в строительстве и в судостроении несколько различна. Это различие в основном касается относительной ширины перемычек ξ . Если в вариантах перфорации, характерных для судовых конструкций, $\xi \geq 1$ (рис.4а и рис.4б), то в балках строительных сооружений этот параметр варьируется в пределах $0.25 \leq \xi \leq 0.5$ (рис.5).

Сохраняя одинаковой высоту вырезов и меняя только их шаг (рис.5а и рис.5б), выясняем, что шаг вырезов в широком диапазоне несущественно влияет на частоту колебаний балки. Это подтверждается расчетами, приведенными на рис.4 и рис.5.

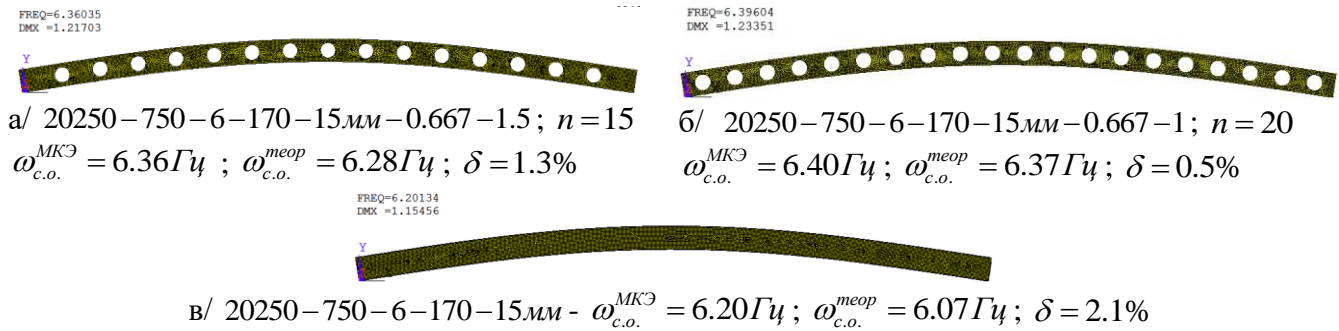


Рис. 4. Частоты колебаний двутавровой балки 20250–750–6–170–15.2мм–0.667– ξ с разным шагом вырезов: а/ $\xi = 1.5$; б/ $\xi = 1$; в/ сплошная

Из рис.4 и рис.5 видно, что аналитическая зависимость (14) дает вполне приемлемые результаты как для балок с редкой перфорацией, характерной для судовых конструкций (рис.4). так и для балок строительных конструкций (рис.5). Расхождение в величинах частот во всех случаях не превышает $\delta = 2.6\%$. На рис.5 приведены колебания балок тех же размеров, что и на рис.4, но с другим шагом вырезов.

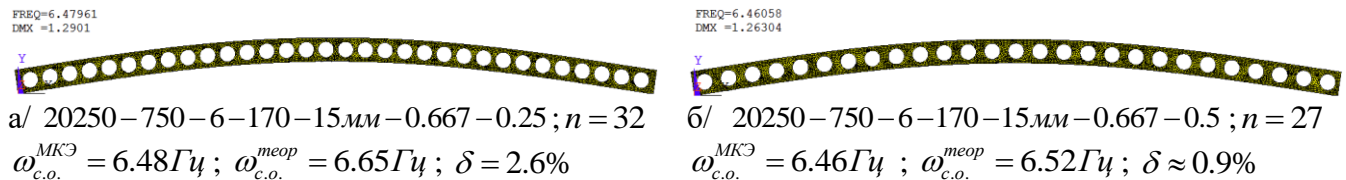


Рис. 5. Частоты колебаний двутавровой балки 20250–750–6–170–15.2мм–0.667– ξ с разным шагом вырезов: а/ $\xi = 0.25$; б/ $\xi = 0.5$

Отметим, что в целом влияние перфорации на колебания балок не слишком большое, но во всех случаях наличие вырезов приводит к повышению частоты колебаний.

1.3. Расчет консольных стержней

Наряду с однопролетными балками в строительных конструкциях часто встречаются и перфорированные консольные стержни, используемые, например, в козырьках торговых комплексов.

В справочнике [1] приведена полученная методом Рэлея формула для частоты колебаний первого тона консольного стержня в виде

$$\omega_{конс}^{теор} = \frac{3.53}{l^2} \sqrt{EI / m}. \quad (15)$$

Согласно проведенным выше выкладкам зависимость (15) для первого тона колебаний перфорированного консольного стержня принимает форму

$$\omega_{конс}^{перф} = \frac{0.562 h_w}{l^2} \sqrt{E 0.5(\alpha + (1 - 0.5\beta^3) / 6) / ((2\alpha + (1 - \pi\beta / (4(1 + \xi))))\rho)}. \quad (16)$$

При $\beta = 0$ зависимость (16) дает частоту колебаний консольного стержня со сплошной стенкой.

Расчет МКЭ консольного стержня без вырезов с параметрами 20250–750–6–250–17мм приводит к

значению частоты $\omega_{\text{конс}}^{\text{МКЭ}} = 2.27 \text{ Гц}$ (рис.6а). Вычисления по (16) при $\beta = 0$ дает $\omega_{\text{конс}}^{\text{теор}} = 2.269 \text{ Гц}$, т. е. расхождение с МКЭ практически отсутствует.

При наличии перфорации с параметрами $\beta = 0.667$ и $\xi = 0.5$ частота колебаний стержня, вычисленная МКЭ, будет равна $\omega_{\text{конс}}^{\text{МКЭ}} = 2.345 \text{ Гц}$ (рис.6б), в то время как теоретическое значение согласно (16) дает значение $\omega_{\text{конс}}^{\text{теор}} = 2.39 \text{ Гц}$. Расхождение в величинах составляет $\delta = 1.9\%$.

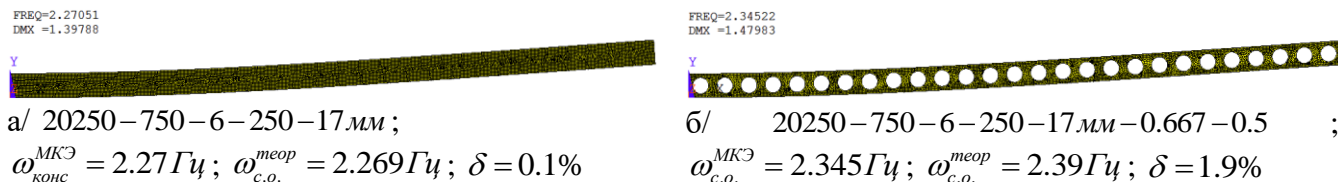


Рис. 6. Частоты колебаний консольного стержня: а/ со сплошной стенкой; б/ перфорированного

Таким образом, полученные соотношения (14) и (16) вполне адекватно отображают частоты колебаний перфорированной балки и консольного стержня соответственно.

Заключение

1. Получена удобная для инженерных расчетов зависимость для частот свободных колебаний двутавровой перфорированной балки с круглыми вырезами (14), в которой нет надобности вычислять момент инерции и погонную массу балки, а достаточно лишь знать соотношение площадей полки и стенки, длину и высоту стенки балки, а также параметры перфорации. При отсутствии вырезов указанная зависимость приводит к формуле (6) для частот колебаний балки со сплошной стенкой.

2. Сравнительный анализ показал, что наличие перфорации увеличивает частоты колебаний балки примерно на 8-10%, причем большее значение относится к перфорации с меньшим шагом вырезов.

3. Расчеты с использованием программного комплекса ANSYS показали, что по сравнению с МКЭ погрешность вычислений по (14) первых частот свободных колебаний шарнирно опертой перфорированной балки с $\beta = 0.667$ не превышает 2.6% при разном относительном шаге круглых вырезов.

4. Подтверждено расчетами МКЭ, что влияние одной и той же перфорации на частоту свободных колебаний балки сказывается по-разному в зависимости от соотношения площадей полки и стенки: чем больше это соотношение при заданной высоте балки, тем меньше эффект перфорации.

5. Зависимость (16) удовлетворительно описывает частоту свободных колебаний перфорированного консольного стержня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по строительной механике корабля: в 3 т. / под ред. Паляя О.М. – Ленинград: Судостроение, 1982. – Т. 3. – 318 с.
2. Прочность, устойчивость, колебания: справочник: в 3 т. / под ред. И.А. Биргера и Я.Г. Пановко. – Москва, 1968. – Т. 3. – 831 с.
3. Притыкин, А.И. Программа Vibration-Grillage создания и расчета МКЭ параметров вибрации модели перекрытия со шпангоутами и стрингерами / А.И. Притыкин, // Свидетельство о госрегистрации программы для ЭВМ №2020666697 РФ от 21.12.2020г.
4. Костин Г.В., Саурин В. В. О свободных колебаниях балок / Доклады Академии наук. 2006. -Том 411. № 5. – С. 617-621.
5. Турищев Л.С. К определению собственных частот свободных колебаний неразрезных балок / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Прикладные науки. Строительство. 2007. № 12. – С. 34-38.

6.Турищев Л.С. К определению собственных частот свободных колебаний балок / Вестник Полоцкого государственного университета. Серия Е. Прикладные науки. Строительство. 2015. № 8. – С. 40-44.

INFLUENCE OF PERFORATION ON THE NATURAL FREQUENCIES OF BEAMS

Pritykin Alexej Igorevich, Dr. of Techn. Sci., professor of the Shipbuilding department

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: prit_alex@mail.ru

In manual on the ship structural mechanics is giving analytical relation for determination of the natural frequencies of the beams with solid web. But in structural practice and in shipbuilding the perforated beams with circular openings are widely used. In the article the analytical relation is obtained for estimation of natural frequencies of simply supported beams with circular openings. Performed comparative analysis by FEM of simply supported perforated beams of different constructive solution confirmed reliable accuracy of obtained formula.

УДК 629.5.01

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЕКЦИЙ КОРПУСОВ СУДОВ

Шевердяев Александр Сергеевич, доцент кафедры кораблестроения

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: sheverd49@gmail.com

Приведены результаты работы по совершенствованию методики исследования сборочных операций, при формировании судовых корпусных конструкций (ССК), учитывающие влияние выделенных санитарно-гигиенических и психофизиологических элементов условий труда на продолжительность технологических комплексов приемов и типовых приемов выполнения работ. Практическое применение изложенной методики учета условий труда при исследовании технологических операций сборки ССК позволит более точно оценить трудоемкость вариантов выполнения работ, обосновать мероприятия по их совершенствованию с обеспечением снижения тяжести труда рабочих и улучшению условий труда.

Повышение производительности труда с обеспечением нормальных условий при изготовлении судовых корпусных конструкций (ССК) продолжает оставаться актуальной проблемой в судостроении. Трудоемкость сборочных и сварочных работ при формировании корпуса судна составляет 45%-55% от общей трудоемкости корпусных работ. Корпусостроительные производства характеризуется большим разнообразием изготавливаемых ССК, технологическими процессами их формирования. Уровень механизации корпусостроительного производства на секционной сборке, в среднем, не превышает 15-18% из-за отсутствия и малой эффективности применения существующих средств механизации; недостаточно проработанных организационно-технологических схем процессов; условий труда, не соответствующих современным требованиям производства.

Одним из начальных условий повышения производительности труда является совершенствование методологических подходов обследования технологических операций и их элементов для выявления резервов сокращения организационно-технологических затрат времени при производстве работ на базе исследования продолжительности элементов операций с учетом условий труда, физического напряжения исполнителей, эффективного применения средств в механизации.

Ранее производились исследования технологических процессов сборки и сварки СКК (1,2,3), которые позволили разработать базовую методику комплексного исследования сборочно-сварочных процессов и их элементов. В методике [4] используются два основных критерия оценки эффективности технологических процессов: первый критерий – продолжительность выполнения анализируемого процесса (T_n), включая продолжительность технологических операций ($T_{оп}$) и их элементов – технологических комплексов приемов ($T_{ткп}$) и технологических приемов ($t_{тп}$); второй критерий – энергетическая стоимость работ (энерготраты исполнителей) при выполнении анализируемого процесса (E_n), включая энерготраты в операциях ($E_{оп}$) и в их элементах – технологических комплексах приемов ($E_{ткп}$) и технологических приемах ($e_{тп}$);

Для оценки значений продолжительности и энерготрат исполнителей в технологических процессах (операциях) в методике [4] были выделены наиболее чувствительные к технологии типовые технологические приемы и комплексы приемов без разделения по составляющим структуры рабочего времени.

Для современного производства кроме групп производственно-технологических факторов повышения производительности труда, включающих: технический уровень производства, технические характеристики предметов труда, организацию производства и труда, объемы и структуру производства – важное значение имеют производственные условия труда. В соответствии с источником [5] критерии для оценки производственных элементов условий труда разделены на 2 группы: санитарно-гигиенические и психофизиологические, иначе “факторы трудового процесса”.

Для комплексного подхода в методологии выбора рациональных (оптимальных) технологических процессов изготовления СКК кроме продолжительности и энерготрат элементов операций желательно учитывать следующие наиболее чувствительные показатели условий труда:

а) санитарно-гигиенические элементы условий труда, включая: температуру воздуха на рабочем месте $^{\circ}C$; токсические вещества, кратность превышения предельно-допустимой концентрации (ПДК); промышленная пыль, кратность превышения ПДК; вибрация, превышение предельно-допустимого уровня (ПДУ); промышленный шум, превышение ПДУ;

б) психофизиологические элементы условий труда, включая: физическую динамическую нагрузку в энерготратах исполнителей; физическая динамическая нагрузка во внешней механической работе; рабочее место и рабочая поза исполнителей; способ перемещения исполнителя в пространстве с грузом и без груза; уровень освещенности рабочего места по сравнению с нормативным (E_n).

Все вышеперечисленные элементы условий труда содержатся в межотраслевых методических рекомендациях [5] и закодированы по количественным характеристикам и по медико-физиологическим показателям тяжести труда: каждому элементу условий труда на рабочем месте в зависимости от группы условий труда и категории тяжести труда присвоены баллы от 1 до 6.

Общая структура времени на выполнение определенной работы имеет вид:

$$T = T_o + T_b + T_{обс} + T_{пз} + T_{п.т} + T_{от.л.} \quad (1)$$

Бальная оценка тяжести труда позволяет осуществлять его количественное категорирование в элементах, сравниваемых технологических процессах: операциях, ТКП и ТП, а также по основному составу затрачиваемого времени: оперативное время ($T_{оп}$), включая основное время (T_o) и вспомогательное время (T_b), и время обслуживания рабочего места ($T_{обс}$), а элементы подготовительно-заключительного времени ($T_{пз}$), времени неустраняемых перерывов ($T_{п.т}$), времени на отдых и личные надобности ($T_{от.л.}$), не будут учитываться так как не имеют существенного значения для сравнения продолжительных работ.

Более подробно состав анализируемого времени в сравниваемых технологических процессах сборки СКК можно записать, учитывая их поведение ручным или механизированным способом, следующим образом:

$$T = T_o^{рн} + T_o^{мн} + T_b^{рн} + T_b^{мн} + T_o^{рп} + T_o^{мп} + T_b^{рп} + T_b^{мп} + T_{обс}^p$$

где $T_o^{рн}$ – основное ручное не перекрываемое время;

(2)

T_o^{MH} – основное механизированное не перекрываемое время;
 T_B^{PH} – вспомогательное ручное не перекрываемое время;
 T_B^{MH} – вспомогательное механизированное не перекрываемое время;
 T_o^{PP} – основное ручное перекрываемое время;
 T_o^{MP} – основное механизированное перекрываемое время;
 T_B^{PP} – вспомогательное ручное перекрываемое время;
 T_B^{MP} – вспомогательное механизированное перекрываемое время;
 $T_{обс}^P$ – ручное время обслуживания.

При анализах вариантов технологических операций и процессов в первом приближении, можно считать равными ручное и механизированное основное перекрываемое время, а также ручное и механизированное вспомогательное перекрываемое время.

Учитывая, что при работе механизированного оборудования рабочие пассивно (не затрачивают физическую энергию) наблюдают за процессом, формулу (2) можно записать в виде:

$$\begin{aligned}
 T &= TA + TP, \\
 TA &= T_o^{PH} + T_B^{PH} + T_o^{PP}(T_o^{MP}) + T_B^{PP}(T_B^{MP}), \\
 TP &= T_o^{MH} + T_B^{MH},
 \end{aligned} \tag{4}$$

где TA – время занятости рабочих всеми видами полезной работы, иначе активной работы; TP – время работы оборудования и пассивного наблюдения рабочих за работой оборудования;

Для того чтобы учесть влияние тяжести труда при выполнении элементов технологических операций, необходимо ввести поправку – коэффициент тяжести (K_T) начиная, для судового корпусостроения, с III категории тяжести труда:

$$\begin{aligned}
 T &= TA + (TA \cdot K_T) + TP, \text{ или} \\
 T &= TA \cdot (1 + K_T) + TP,
 \end{aligned} \tag{7}$$

Кроме учета тяжести труда, вызванных санитарно-гигиеническими и психофизическими производственными элементами условий труда при анализе вариантов технологических процессов изготовления СКК необходимо дополнительно учитывать следующие особо влияющие на продолжительность работ производственные факторы: выполнение работ и перемещений в соответствующем пространственном положении ($K_{прп}$); выполнение работ с использованием лесов, подмостей и др. приспособлений ($K_{лес}$); выполнение сборочно-сварочных работ в тесных неудобных местах и внутри объемов конструкций ($K_{тес}$).

Необходимо отметить, что расчленение типовых технологических операций до технологических приемов работ для учета производственных условий труда, как и в источнике [3], вполне достаточны в том числе и для оценки применения средств технологического оснащения (СТО), положения и перемещения рабочих.

Используя обозначения в математических моделях технологических процессов сборки и сварки, содержащихся в источнике [4] можно представить развернутую математическую запись продолжительности выполнения операций и их основных сравниваемых элементов в следующем виде:

$$\begin{aligned}
 T_{п} &= \sum_{i=1}^{i=m} k_{оп_i}^{c(св)} \cdot T_{оп_i}^{c(св)}, \\
 T_{оп} &= K_k \sum_{j=1}^{j=m_1} k_{ткп_j}^{сов} \cdot t_{ткп_j}, \\
 t_{ткп_j} &= K_{прп_j} \cdot K_{лес_j} \cdot K_{тес_j} \cdot \sum_{r=1}^{r=m_2} k_{тпр_r} \cdot (t_{пр_r} + t_{нр_r} + t_{об_r} + t_{кч_r} + t_{з_r}(1 + K_{Тз}) + t_{уц_r}(1 + K_{Туц}) + \\
 & t_{сп_r}(1 + K_{Тсп}) + t_{рм_r}(1 + K_{Трм}) + t_{пр_r}(1 + K_{Тпр}) + t_{кч_r}(1 + K_{Кч_r}) + t_{свр_r}(1 + K_{Тсвр}) + \\
 & t_{оч_r}(1 + K_{Точ}) + t_{об_r}(1 + K_{Тоб}) + t_{зч_r}(1 + K_{Тзч}) \\
 & + t_{ом_r}(1 + K_{Том}),
 \end{aligned} \tag{10}$$

где $T_{п}$ – продолжительность технологического процесса, мин.(час.);

$T_{оп_i}^{c(св)}$ – продолжительность i -ой технологической сборочной (сварочной) операции, мин.;

$k_{оп_i}^{c(св)}$ – коэффициенты совмещения в i -ой сборочной (сварочной) операции;

$t_{ткп_j}$ – продолжительность j -ого типового комплекса приемов, мин.;

K_k – коэффициент влияния конструкции собираемой секции;
 $K_{ТКПj}^{COB}$ – коэффициенты совмещения в j^{OM} технологическом комплексе;
 $K_{прпj}, K_{лесj}, K_{Тесj}$ – коэффициенты, определения которых приведены выше;
 $K_{ТГР}$ – коэффициент совмещения $r^{БЛХ}$ -технологических приемов j^{OM} технологическом комплексе приемов;

$t_{рr}$ – время принятия решений, мин.;

$t_{нr}$ – время взятия (откидывания) инструмента (приспособлений), мин.;

$t_{эр}$ – время закрепления (отдача) силовых (грузозахватных) приспособлений, мин.;

$t_{усr}$ – время установки (снятия) рабочего элемента сварочного оборудования, мин.;

$t_{спr}$ – время выполнения сборочных сопряжений, мин.;

$t_{рмr}$ – время разметки линий (сопряжений), мин.;

$t_{прр}$ – время пригонки сборочных сопряжений, мин.;

$t_{кчr}$ – время проверки качества ТП (ТКП), исправление брака, мин.;

$t_{свр}$ – время сварки кромок деталей, мин.;

$t_{очr}$ – время очистки кромок деталей, мин.;

$t_{обr}$ – время обслуживания оборудования (инструмента), мин.;

$t_{зчr}$ – время зачистки кромок деталей под сварку (эл./прих.), мин.;

$t_{омr}$ – время обрезки лишнего металла, мин.;

K_T – коэффициент, учитывающий тяжесть труда при выполнении: закрепления (отдачи) силовых приспособлений ($K_{Тз}$); установки (снятия) элемента сварочного оборудования ($K_{ус}$); выполнения сборочных сопряжений ($K_{сп}$); время разметки линий ($K_{Трм}$); пригонки сборочных сопряжений ($K_{Тпр}$); проверки качества ТП ($K_{Ткч}$); сварки кромок ($K_{Тсв}$); очистки кромок ($K_{Точ}$); обслуживания оборудования ($K_{Тоб}$); зачистки кромок ($K_{Тзч}$); обрезки лишнего металла ($K_{Том}$).

Технологические приемы, составляющие продолжительность $t_{ТКП}$ для исследуемого технологического процесса, могут корректироваться по составу и назначению.

Формирование массива исходных данных по продолжительности элементов – $t_{ТКП}$, $t_{КП}$ необходимых для расчетов может производиться по существующим нормативам времени для узловой и секционной сборки корпусных конструкций надводных судов, расчетным формулам, по средним значениям продолжительности перемещений и приемов, входящих в судосборочные операции источника [4], статистическим данным по продолжительности элементов корпусосборочных и сварочных операций, полученных на их основе хронометражных наблюдений в производственных условиях.

Коэффициенты учитывающие тяжесть труда предназначенные для оценки удельной тяжести, труда элементов (приемов) технологических операций рассчитываются по формуле:

$$K_T \left(\frac{T_{ус.б}}{мин} \right) = \frac{И_T}{\Phi_{рв}}, \frac{балл}{мин} \quad (11)$$

$И_T$ – бальная оценка тяжести труда за расчётный фонд времени;

$\Phi_{рв}$ – расчетный фонд времени, в течение которого вредные факторы труда воздействуют на человека, обычно за смену 480 минут.

Интегральный показатель тяжести труда ($И_T$), устанавливаемый по элементам тяжести труда, содержащихся в источнике [5] не должны быть меньше определяющего элемента наибольшего среди рассматриваемых для конкретного технологического приема (КП) или комплекса приемов (ТКП) и не должен быть больше “6”, как наибольшего показателя согласно принятой классификации категории тяжести труда.

Расчет показателя $И_T$ производится по формуле:

$$И_{Tij} = K_{опj} + \left[\sum_{j=1}^{n-1} x_{ij} \cdot \frac{x_{maxj} - K_{опj}}{(n-1) \cdot x_{maxj}} \right] \quad (12)$$

где $K_{опj}$ – определяющий (имеющий наибольший балл) элемент условий труда на $j^{ом}$ рабочем месте, балл;

x_{ij} – биологически значимый i элемент условий труда на $j^{ом}$ рабочем месте, балл;

X_{maxj} – максимально значимый биологический элемент на $j^{ом}$ рабочем месте, балл;

Дополнительные элементы x_{ij} влияют на интегральный показатель I_T пропорционально своей величине в баллах и их количеству, поэтому обозначив переменные значения $\sum_{j=1}^{n-1} x_{ij}$ через L для $j^{ого}$ рабочего места и взяв значение $X_{max} = 6$, получим:

$$I_T = K_{оп} + (L \cdot \frac{6-K_{оп}}{6}) \cdot 10 \quad (13)$$

Для удобства расчетов в приведенной формуле принято 10-кратное увеличение интегрального показателя.

Изменение I_T относительно значения, L как суммарного показателя значений элементов – x_i на j -ом рабочем месте описывается математической зависимостью:

$$I_T = f(x_{ij}), \text{ или} \quad (14)$$

$$I_{Tj} = 19,7 \bar{x}_{ij} - 1,6 x_{ij}^{-2}, \quad (15)$$

где I_{Tj} – интегральная балльная оценка категории тяжести работы на $j^{ом}$ рабочем месте;

\bar{x}_{ij} – среднее арифметическое значение баллов всех биологически значимых $i^{х}$ элементов условий труда на $j^{ом}$ рабочем месте.

Максимальные значения балльной оценки тяжести труда (I_T) для принятых по классификации в категории тяжести труда будут следующие: I кат –18 баллов; II кат –33 балла; III кат –45 баллов; IV кат –53 балла; V кат –59 баллов; VI кат –60 баллов;

Для работы в течение смены можно определить по формуле (8) удельный показатель – коэффициент тяжести труда на j -ом рабочем месте – K_{Tj} ;

$$K_{Tj} = \frac{I_T}{480}, \frac{\text{балл}}{\text{мин}} \quad (16)$$

Для сравнительной оценки продолжительности выполнения технологических приемов (комплексов приемов). Удельный показатель тяжести труда K_{Tj} рассчитанный с учетом 10 кратного увеличения интегрального показателя можно принять в качестве дополнительного условного коэффициента ко времени проведения приема (комплекса приемов), учитывающего тяжесть труда.

Максимальные значения коэффициентов тяжести труда K_{Tmax} в условных единицах для принятых 6 категорий тяжести труда соответственно будут иметь значения: I кат –0,037; II кат –0,068; III кат –0,094; IV кат –0,111; V кат –0,123; VI кат –0,125;

В корпусосборочном производстве I и II категории тяжести труда считаются нормальными, поэтому учет увеличения продолжительности выполнения элементов технологических операций будет производиться с III категории тяжести труда.

Например, для элемента продолжительности $t_{сп}$ (время выполнения сборочных сопряжений) при III категории тяжести — это будет выглядеть как:

$$t_{сп} \cdot (1 + K_{Tсп}) = t_{сп} \cdot (1 + 0,094) = 1,094 \cdot t_{сп}, \text{ мин}$$

Учет условий труда посредством корректировки продолжительности вы (17) ия элементов операций позволит более точно оценивать технологические процессы по основному критерию – продолжительности выполнения работ.

Для более глубокого анализа трудового участия исполнителей в сравниваемых технологических процессах используется второй критерий эффективности [4] – энерготраты исполнителей, как одного из основных психофизиологических производственных элементов условий труда, рассмотренных выше.

Расчеты энерготрат исполнителей следует проводить в соответствии с методическими указаниями источника [3]. Эта методика позволяет оценить интенсивность физического напряжения исполнителей на любом отрезке времени проведения анализируемых технологических процессов по энергетическим затратам в технологических приемах сборки и сварки СКК; дает возможность выбрать количество исполнителей, распределение работ между ними; выявить наиболее эффективные к применению СТО; приемы работ, а также элементы операций, требующих первоочередной

механизации. Типовые физические затраты исполнителей – энерготраты при выполнении технологических приемов приведены в источнике [3].

Следует указать, что в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, легкая степень физического напряжения, характеризуется расходом энергии исполнителя в минуту до $10,5 \cdot 10^3$ Дж/мин., соответственно средняя степень – $(10,5 \div 17,5) \cdot 10^3$ Дж/мин. Тяжелая степень – свыше $17,5 \cdot 10^3$ Дж/мин.

При выполнении корпусосборочных и сварочных работ ручным способом, следует не превышать удельный расход энергии исполнителей: $15,1 \cdot 10^3$ Дж/мин., что обеспечит рациональный режим труда и отдыха рабочих.

Общая запись по критерию энерготрат исполнителей в анализируемом варианте технологического процесса имеет вид:

$$E_n = \sum_{i=1}^{i=m} E_{оп_i} \quad (18)$$

$$E_{оп_i} = \sum_{j=1}^{j=m_1} K_{kj} \cdot E_{ткп_j} \quad (19)$$

$$E_{ткп_i} = \sum_{r=1}^{r=m_1} l_{кп_r} \quad (20)$$

где E_n – энерготраты исполнителей при выполнении технологического процесса (его части) сборки и сварки СКК, Дж.;

$E_{оп_i}$ – энерготраты исполнителей при выполнении i -ой операции (ее части), Дж.;

$E_{ткп_j}$ – энерготраты исполнителей при выполнении j -ого ТКП (ее части), Дж.;

K_{kj} – коэффициент, учитывающий конструктивные особенности конструкции при выполнении j -ого ТКП;

$l_{кп_r}$ – энерготраты исполнителей при выполнении r -ого ТП, Дж.

Для более детальной оценки удельных значений механизированной работы в сравниваемых технологических процессах, операциях, комплексах приемов корпусостроительного производства следует использовать показатель уровня механизации труда, $У_m$. Этот показатель целесообразно использовать для выработки дальнейших рекомендаций по механизации технологических операций и их элементов, подбора оптимальных средств механизации. Применительно для процессов сборки и сварки уровень механизации исчисляется в общем виде как отношение продолжительности работ, выполняемых механизированным способом к общей продолжительности работ в составе технологических процессов, операций, комплексах приемов:

$$У_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} (T_o^M + T_B^M)}{\sum_{i=1}^{i=m} (T_o^M + T_B^M) + \sum_{i=1}^{i=m} (T_o^{PH} + T_B^{PH})} \cdot 100\% \quad (21)$$

$$T_o^M = T_o^{MH} + T_o^{MP}(T_o^{PH}), T_B^M = T_B^{MH} + T_B^{MP}(T_B^{PH}), \quad (22)$$

где T_o^M, T_B^M – соответственно механизированные основные и вспомогательное время;

T_o^{PH}, T_B^{PH} – соответственно ручное не перекрываемое основное и вспомогательное время;

T_o^{MH}, T_B^{MH} – соответственно механизированное не перекрываемое основное и вспомога-

тельное время;

T_o^{MP}, T_B^{MP} – соответственно механизированное ручное перекрываемое основное и вспомогательное время.

Расчеты показателей $У_m$ базируются на данных использованных для расчетов показателей продолжительности при сравнении анализируемых технологических процессах, операций и их элементах. Данные для расчетов показателей $У_m$ могут быть получены из расчетных данных и хронометражных показателей, имеющихся на предприятии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическое применение вышеизложенной последовательности исследования технологических операций сборки и сварки при изготовлении СКК позволит на базе более комплексного под-

хода установить количественные и качественные зависимости затрат времени с учетом сопутствующих психофизиологических факторов условий труда, энергетических затрат физической энергии исполнителя и уровня механизированного труда. Установление на базе исследований оптимального производственного варианта технологического процесса изготовления СКК, позволит определить условия проведения технологических операций и их элементов наметить объекты механизации при выполнении сборочно-сварочных работ и проработать оптимальные организационно-технологические схемы, технологических процессов, учитывающих расположение СТО и перемещения исполнителей работ.

Разработанная схема учета условий труда в методике комплексного исследования технологических процессов изготовления СКК позволит более точно оценивать трудозатраты, разрабатывать мероприятия по совершенствованию процессов изготовления СКК, обеспечивающих снижение тяжести труда рабочих и улучшение условий их труда. Полученные результаты по совершенствованию комплексной методики исследования технологических процессов сборки и сварки СКК требуют производственной проверки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.П. К вопросу повышения производительности труда судосборщиков на секционной сборке / А.П. Иванов // Вопросы судостроения. Сер. Технология судостроения. Вып. 24. – Л.: Судостроение, 1978.
2. Иванов А.П., Долгина И.Н. Методика и результаты исследования технологических операций сварки при изготовлении секций корпусов судов / А.П. Иванов, И.Н. Долгина // Известие КГТУ, №21. – Калининград, 2011. – С. 157-163.
3. Иванов А.П., Кожевников В.А., Шевердяев А.С. Результаты исследования технологических операций формирования корпусов судов // Известие КГТУ, № 37. – Калининград: ФГБОУ ВО “КГТУ”, 2015. – С. 211-220.
4. Иванов А.П., Жаровин Д.А., Шевердяев А.С. Разработка технических предложений по повышению производительности труда при изготовлении секций корпусов судов. Отчет о НИР ФГБОУ ВПО “КГТУ”, шифр 41.03.1, рег №01201172256 (ФГНУ ЦИТиС). – Калининград, 2011. – С. 81.
5. Количественная оценка тяжести труда (Межотраслевые методические рекомендации) НИИ труда – М.: Экономика, 1988. – С. 120.

VALUATION OF IMPACT ASSESSMENT OF PRODUCTION ELEMENTS OF WORKING CONDITIONS TO CHOICE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY HULL SECTIONS

Sheverdyayev Alexander Sergeevich, Associate Professor of the Department of Shipbuilding

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: sheverd49@gmail.com

The article presents the results of work on improving the methodology for researching assembly operations in the formation of ship hull structures (SSC), taking into account the influence of the identified sanitary-hygienic and psychophysiological elements of working conditions on the duration of technological complexes of techniques and standard techniques for performing work. The practical application of the above methodology for accounting for working conditions in the study of technological operations of assembly of the SCC will allow a more accurate assessment of the labor intensity of the options for performing work, substantiate measures for their improvement with the provision of reducing the severity of workers' labor and improving working conditions.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ИНДУСТРИИ»

SECTION "ELECTRICAL SYSTEMS OF THE MARINE INDUSTRY OBJECTS"

УДК 621.313.322-843.6

СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ЦИФРОВЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ СУДОВЫХ БЕСЩЕТОЧНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

¹Алексеев Николай Андреевич, профессор, канд. техн. наук

²Виноградов Андрей Александрович, доцент кафедры САЭС

³Кудрявцев Юрий Викторович, доцент, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова,

г. Санкт-Петербург, Россия, e-mail: ¹kaf_saees@gumrf.ru;

²eric_esseker@mail.ru; ³uvkmail@mail.ru

Рассмотрены структурные и функциональные особенности типовых систем возбуждения современных судовых бесщеточных генераторов: самовозбуждение (шунт); с генератором на постоянных магнитах в качестве подвозбудителя; с независимыми обмотками возбуждения на статоре генератора (комбинированная система с токовым компаундированием). Представлены достоинства и недостатки каждой из рассмотренных систем возбуждения. В качестве цифровых регуляторов напряжения для рассмотренных систем возбуждения судовых бесщеточных генераторов представлены характеристики и особенности настройки регуляторов фирмы Leroy-somer типа R438, R448, R448V50.

Достижения в области судовой полупроводниковой техники позволили внести существенные изменения в систему возбуждения и конструкцию судовых синхронных машин. С целью отказа от щеточного аппарата и снижения выходной мощности регулятора напряжения было предложено в качестве возбудителя использовать обращенный синхронный генератор, расположенный на одном валу с ротором главного генератора. Регулирование напряжения генератора осуществляется путем изменения тока в обмотке возбуждения возбудителя, расположенной на его статоре. Напряжение, снимаемое с трехфазной обмотки возбудителя, выпрямляется с помощью выпрямителя, расположенного на роторе машины между возбудителем и обмоткой возбуждения генератора, и подается на обмотку возбуждения генератора. В настоящее время используется несколько типов систем возбуждения судовых бесщеточных генераторов [1, 2, 3].

Одним из возможных типов систем возбуждения бесщеточного генератора является система с самовозбуждением, еще ее называют шунтовая система, т.е. при использовании этой системы регулирования напряжения синхронного генератора осуществляется по отклонению регулируемой величины (рис. 1).

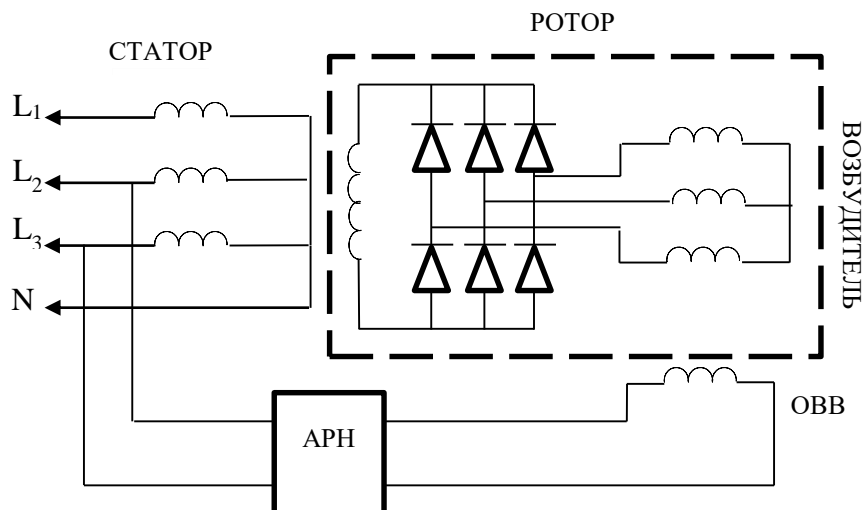


Рис. 1 Судовой бесщёточный синхронный генератор с независимым возбуждением

Питание автоматического регулятора напряжения (АРН) производится непосредственно с выхода обмоток статора генератора. Стабилизация напряжения на выходе генератора при изменении тока нагрузки осуществляется регулированием тока в обмотке возбуждения возбудителя (ОВВ). Напряжение снимается с выхода статора генератора используется АРН как для формирования мощности, отдаваемой на обмотку возбуждения возбудителя, так и для контроля за величиной изменения напряжения генератора с целью его стабилизации. Это очень простой и экономически эффективный способ для формирования необходимой мощности для управления током возбуждения возбудителя. Для его осуществления не требуется никаких дополнительных устройств, что облегчает поиск неисправностей при необходимости. Вместе с тем система неработоспособна при высоких нелинейных нагрузках, скачки нагрузки (пуски мощных асинхронных двигателей), т.к. при этом уменьшается (проваливается) выходное напряжение генератора, которое является энергетическим источником тока возбуждения. Кроме того, данная систем стабилизации напряжения генератора не может поддерживать напряжение на необходимом уровне при коротком замыкании для обеспечения отключения аварийного участка сети. Эти недостатки не позволяют широко использовать систему независимого возбуждения (шунтовую) в судовой практике из-за наличия большого количества индуктивной нагрузки (асинхронные двигатели). Альтернативой системы с самовозбуждением является система независимого возбуждения, в которой в качестве источника энергии для обмотки возбуждения возбудителя используется дополнительный генератор на постоянных магнитах (PMG - permanent magnet generator), с помощью которого через АРН осуществляется питание обмотки возбуждения возбудителя (рис.2).

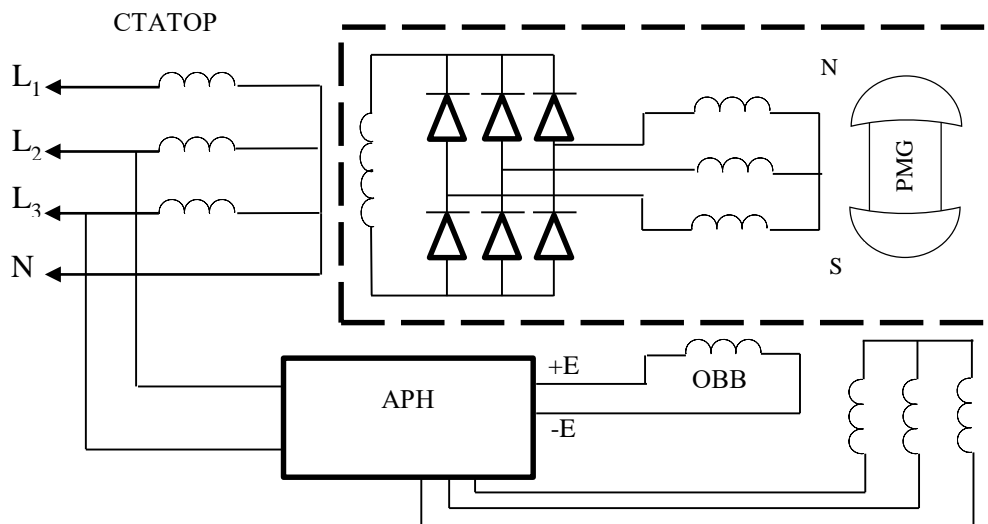


Рис. 2 Судовой бесщёточный синхронный генератор с генератором на постоянных магнитах (PMG) в системе возбуждения

Использование PMG генератора в системе возбуждения генератора обеспечивает его надежное начальное возбуждение. Поскольку АРН получает питание непосредственно от трехфазной обмотки статора генератора с постоянными магнитами, тем самым обеспечивается независимость системы регулирования напряжения от возможных искажений формы кривой напряжения на выходе генератора за счет нелинейной нагрузки, работы в сети мощных выпрямителей и преобразователей частоты в системах управления асинхронных двигателей.

Система возбуждения с генератором на постоянных магнитах имеет ряд преимуществ:

- автоматическое возбуждение генератора запуска;
- нет необходимости в остаточном намагничивании для обеспечения начального возбуждения;
- при перегрузках и к.з. поддерживает необходимую величину напряжения, обеспечивая тем самым селективность отключения аварийных участков электрической сети;
- нечувствительность к частотным искажениям в цепи в цепи статора главного генератора, связанных с нелинейностью нагрузки, например, при наличии в системе мощных выпрямителей и частотных преобразователей;
- энергоснабжение обмотки возбуждения возбудителя не зависит от переходных процессов на выходе статора главного генератора при пусках мощных асинхронных двигателей, тем самым обеспечивается необходимое возбуждение для быстрого восстановления напряжения, и в конечном счете крутящего момента для обеспечения быстрого разгона двигателя.

Вместе с тем, системе возбуждения с генератором на постоянных магнитах присущ и ряд недостатков, а именно:

- усложнение конструкции системы возбуждения;
- увеличение габаритных размеров и веса генератора;
- более высокая стоимость;
- перегрузочная способность ограничивается возможностями генератора на постоянных магнитах.

В системе возбуждения бесщёточного генератора с независимыми обмотками возбуждения на статоре генератора (рис. 3) автоматический регулятор напряжения (АРН) получает питание от двух обмоток, независимо от входного напряжения, снимаемого со статора генератора, используемого как измеряемую и регулируемую величину. На статоре генератора, между его основными обмотками размещаются две независимые обмотки Н1 и Н2.

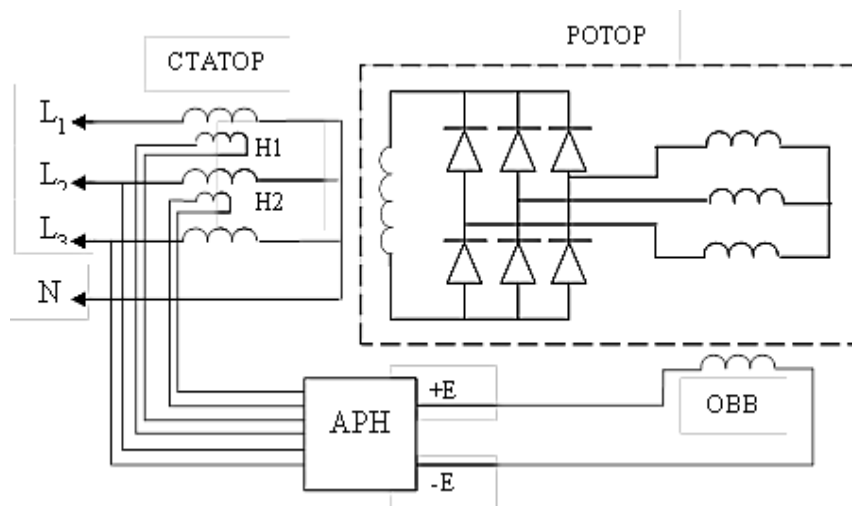


Рис. 3 Судовой бесщёточный синхронный генератор с обмотками независимого возбуждения на статоре

На обмотке Н1 формируется напряжение, пропорциональное выходному напряжению генератора (характеристика «Шунт», используется для регулирования напряжения по отклонению). Вторая обмотка Н2 – токового компаундирования, т.е. напряжение обмотки Н2 пропорционально току статора. Таким образом, система возбуждения генератора получает питание от двух независимых источников от обмотки Н1 - пропорционально напряжению генератора; от обмотки Н2 - пропорционально току генератора, т.е. имеем комбинированную систему токового компаундирования.

Система возбуждения бесщёточного генератора с двумя независимыми обмотками на статоре генератора имеет следующие преимущества:

- автоматическое возбуждение при запуске генератора;
- стойкость к воздействию нагрузок генератора за счет дополнительной обмотки токового компаундирования;
- более высокое качество регулирования за счет использования двух принципов регулирования: по отклонению и по возмущению;
- нет изменения габаритных размеров и незначительное увеличение стоимости генератора.

Недостатки: усложнение конструкции системы возбуждения за счет расположения дополнительных обмоток (напряжения Н1 и тока Н2) на статоре генератора.

Стабилизация напряжения генератора при изменении тока нагрузки от нуля до номинального значения, при номинальном коэффициенте мощности, а также обеспечение установившейся величины тока короткого замыкания, достаточной для селективного срабатывания защитных устройств обеспечивают автоматические регуляторы напряжения. Стабилизацию же частоты при сбросе/набросе нагрузки обеспечивают регуляторы приводных двигателей генераторов [4]. Необходимая небольшая мощность на обмотке возбуждения возбудителя (выходная мощность автоматического регулятора напряжения) позволяет использовать в качестве регулятора тока возбуждения возбудителя унифицированные цифровые регуляторы напряжения, и тем самым снизить затраты на их эксплуатацию.

Компания Leroy-somer для судовых бесщёточных генераторов с типовыми системами возбуждения, рассмотренными выше предлагает универсальный цифровой регулятор напряжения типа R438 (рис. 4).

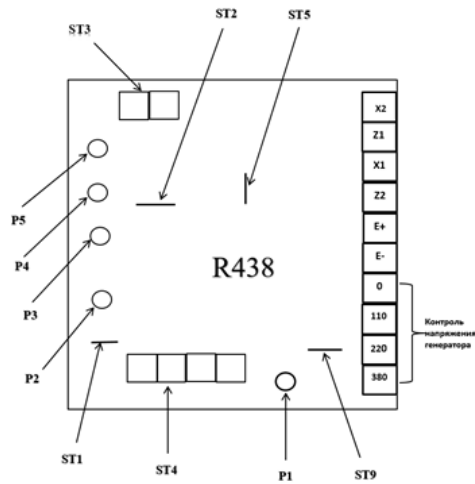
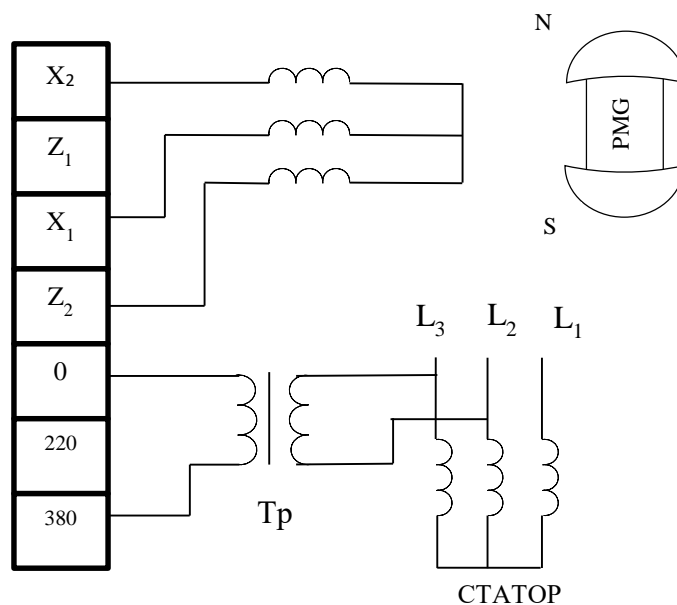


Рис. 4. Расположение переключателей ST и регулировочных потенциометров P на цифровом регуляторе напряжения R438

Универсальность регулятора (настройка на работу с системой возбуждения с генератором на постоянных магнитах, либо с системой с независимыми обмотками возбуждения на статоре генератора) достигается использованием переключателей ST1-ST10 и регулировочных потенциометров P1-P5 [5]. Задание рабочей частоты генератора 50 либо 60 Гц выполняется с помощью переключки ST3. переключка ST9 определяет используемую типовую систему возбуждения: ST9 – замкнута, используется система с двумя независимыми обмотками на статоре главного генератора; ST9 – разомкнута, в качестве подвозбудителя используется генератор с постоянными магнитами на роторе (PMG). Схема подключения питания к автоматическому регулятору напряжения R438 показана на рис. 5. Подключение контролируемого (определяемого) напряжения статора генератора к АРН осуществляется с помощью развязывающего трансформатора 5ВА (рис. 5).



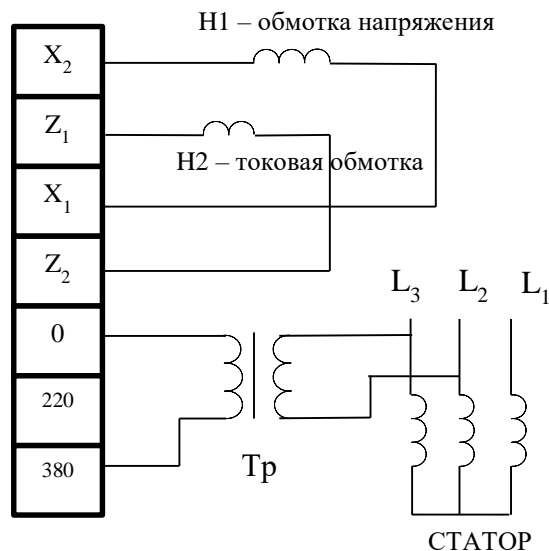


Рис. 5 Схемы подключения питания к цифровому регулятору напряжения R438:
 а) – генератор с постоянными магнитами (PMG); б) – независимые обмотки
 на статоре генератора H1 – напряжения, H2 - токовая

Состояние переключки ST1 определяет одна или три фазы подается к АРН для контроля величины напряжения на статоре генератора. Регулирование величины выходного напряжения статора генератора осуществляется с помощью потенциометра P2, при этом для расширения зоны регулирования с помощью переключки ST4 возможно подключение внешнего потенциометра 1 кОм. Для организации параллельной работы генераторов статизм настраивается потенциометром P1. для организации распределения реактивной нагрузки используется трансформатор тока 2,5 ВА, ток вторичной обмотки 1 А. Новой для цифрового регулятора напряжения R438 является опция приема нагрузки (load acceptance module LAM). Модуль LAM встроен в регулятор и активируется/деактивируется с помощью переключки ST5. Функционально действие модуля заключается в следующем. При наброске нагрузки напряжение генератора резко снижается, снижается и частота вращения приводного двигателя, а следовательно, и частота напряжения. Если частота в сети снижается ниже заранее установленной величины, то регулятор резко снижает ток возбуждения и напряжение генератора на предварительно установленную величину, что снимает величину активной нагрузки, приложенной к генератору, и тем самым помогает приводному двигателю быстрее выйти на номинальную частоту (рис. 6).

Таким образом, модуль LAM может быть использован как для уменьшения приводного напряжения, так и для сокращения времени провалов напряжения и частоты. Настройка параметров модуля LAM выполняется с помощью потенциометра P4. С помощью потенциометра P4, в зависимости от принятой частоты сети (50/60 Гц), модуль настраивается на 48 Гц либо 58 Гц, т.е. на 2 Гц ниже номинальной частоты. При достижении частотой установленной границы модуль LAM резко сбрасывает напряжение. Величина, на которую модуль LAM сбрасывает напряжение при резком снижении частоты сети, зависит от характеристик приводного дизеля и может устанавливаться на значение 15% или 25% с помощью переключки ST10.

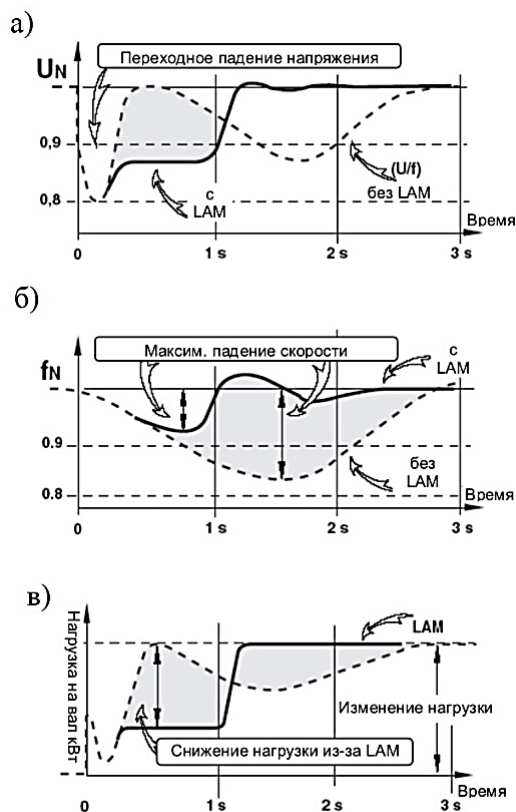


Рис. 6. Иллюстрация эффекта использования модуля LAM при набросе нагрузки на генераторный агрегат: а – изменение напряжения; б – изменение частоты; в - изменение нагрузки на валу

Выводы

1. Несмотря на то, что система возбуждения с генератором на постоянных магнитах PMG добавляет длину, вес и сложность, это наиболее часто используемая система возбуждения бесщеточных генераторов в энергетических системах с большими нелинейными нагрузками.

2. Некоторые преимущества система возбуждения с двумя независимыми обмотками на статоре генератора заключаются в том, что их использование приводит к уменьшению осевой длины генераторной установки и снижению эксплуатационных затрат, т.к. используется меньше оборудования по сравнению с PMG.

3. Обе системы возбуждения PMG и с двумя независимыми обмотками на статоре генератора могут использоваться в энергетических системах, где требуются пуски мощных электродвигателей и присутствует нелинейная нагрузка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лемин Л.А., Пруссаков А.В., Григорьев А.В. Эксплуатация судовых систем электроснабжения; учебное пособие. Изд. 2-е. испр. и доп. – СПб.: Изд-во ГМА им. адм. С.О Макарова, 2006. – 184 с.
2. Романовский В.В., Куракин В.Н., Григорьев А.В. Электрооборудование морских буровых установок. – СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2015. – 168 с.
3. Лемин Л.А. Системы возбуждения судовых бесщеточных синхронных генераторов. – М.: Мортехинформреклама, 1995. – 44 с.
4. Правила классификации и постройки морских судов. – Т2. – СПб.: РМРС, 2015. – 807 с.
5. www.leroy-somer.com/installation_and_maintenance, R448&R448 V50 A.V.R.

EXCITATION SYSTEMS AND DIGITAL VOLTAGE REGULATORS FOR MARINE BRUSHLESS GENERATORS

¹Alekseev Nikolay Andreevich, Professor, Candidate of Technical Sciences

²Vinogradov Andrey Aleksandrovich, Associate Professor

³Kudryavtsev Yuri Viktorovich, Associate Professor

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint-Petersburg, Russia, e-mail: ¹kaf_saees@gumrf.ru; ²eric_esseker@mail.ru;
³uvkmail@mail.ru

Structural and functional features of typical excitation systems of modern marine brushless generators are considered: self-excitation (shunt); with a permanent magnet generator as an exciter; with independent field windings on the generator stator (combined system with current compounding). The advantages and disadvantages of each of the considered excitation systems are presented. As digital voltage regulators for the considered excitation systems of marine brushless generators, the characteristics and tuning features of Leroy-somer type R438, R448, R448V50 regulators are presented.

УДК 621.314

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

¹Белей Валерий Феодосиевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования судов и электроэнергетики

²Решетников Глеб Александрович, преподаватель кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

³Брижак Роман Олегович, аспирант кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹vbeley@klgtu.ru; ²gleb.reshetnikov@klgtu.ru;
³brizhak12@gmail.com

Одним из направлений научно-технического прогресса на объектах морской индустрии является широкое использование технологий, основанных на нелинейных элементах. Однако применение таких технологий приводит к росту потребления реактивной мощности, ухудшению качества электрической энергии, в первую очередь за счет высших гармонических. В статье выполнен анализ разделов «Правила классификации и постройки морских судов НД № 2-020101-114. 2019», российских и ряда зарубежных стандартов в области качества электроэнергии, регламентирующих уровень высших гармонических в электрических сетях. Приведены результаты исследования влияния высших гармонических на функционирование основного электрооборудования в судовых электроэнергетических системах.

1. Анализ стандартов, регламентирующих уровень высших гармонических в электрических сетях

В РФ с 1967 года введено пять стандартов, регламентирующих нормы качества электроэнергии (КЭ) в системах электроснабжения общего назначения [1-5]. В этих стандартах регламентируются только гармонические составляющие напряжения.

Так в стандарте 1967 года [1] используется коэффициент несинусоидальности, определяющий форму кривой напряжения:

$$K_{\gamma} = \frac{U_{\gamma\Sigma}}{U_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$U_{\gamma\Sigma} = \sqrt{\sum_{\gamma=2}^{\infty} U_{\gamma}^2} \quad (2)$$

где U_{γ} – напряжение γ -й гармоники; U_1 - напряжение основной частоты.

Если $K_{\gamma} \leq 5\%$, то форма кривой напряжения считается практически синусоидальной.

Стандартом 1987 года [2] гармонические составляющие напряжения регламентируется двумя показателями:

1. Коэффициент несинусоидальности кривой напряжения ($K_{\text{нсу}}$, %).

$$K_{\text{нсу}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N (U_{(n)}^2)}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $U_{(n)}$ – действующее значение амплитуды n -ой гармоники напряжения; n - порядок гармонической составляющей напряжения; N – порядок последней из учитываемых гармонических составляющих напряжения.

2. Коэффициент n -гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$.

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(\text{ном})}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Таблица 1

Допустимые значения гармонические составляющие напряжения

Наименование показателя	Допустимое значение показателя	
	нормальное	максимальное
Коэффициент несинусоидальности, %, не более, в электрической сети напряжением:		
до 1 кВ	5	10
6-20 кВ	4	8
35 кВ	3	6
110 кВ и выше	2	4
Коэффициент гармонической составляющей напряжения нечетного (четного) порядка, %, не более, в электрической сети напряжением:		
до 1 кВ		
6-20 кВ	-	6 (3)
35 кВ	-	5 (2,5)
110 кВ и выше	-	4 (2)
	-	2 (1)

Стандарты 2010 и 2013 г. [4,5] разработаны с учетом стандарта ЕС EN50160 [6]. Относительно показателей, регламентирующих гармонические составляющие напряжения, они одинаковы. Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются.

Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения ($K_{U(n)}$) до 40-го порядка от основной гармонической составляющей (U_1) в точке передачи электрической энергии.

$$K_{U(n)} = \frac{U_{(n)}}{U_{(1)}} \cdot 100\% . \quad (5)$$

Значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения K_U в точке передачи электрической энергии.

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{40} (U^2_{(n)})}}{U_{(1)}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений, приведенные в таблице 2 в течение 95 % времени интервала в одну неделю.

Таблица 2

Значения K_U , усредненные в интервале 10 мин в течение 95 % времени в неделю

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , %			
Напряжение электрической сети, кВ			
0,38	6—25	35	110—220
8,0	5,0	4,0	2,0

Тот же коэффициент не должен превышать значений, установленных в таблице 3, в течение 100 % времени интервала в одну неделю.

Таблица 3

Значения K_U , усредненные в интервале 10 мин в течение 100 % времени в неделю

Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , %			
Напряжение электрической сети, кВ			
0,38	6—25	35	110—220
12,0	8,0	6,0	3,0

Значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_U(n)$, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать значений для четных, нечетных и гармоникам кратных трем, в течение 95 % и 100% времени интервала в одну неделю приведены в материалах стандарта [5].

Правилами классификации морских судов [7] регламентируются. Значение коэффициента несинусоидальности кривой напряжения

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{200} (U^2_{(n)})}}{U_c} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где U_c – действующее напряжение сети.

Гармонические составляющие напряжения по цепям питания в соответствии с графиком высших гармоник судовой сети в соответствии с рисунком 1.

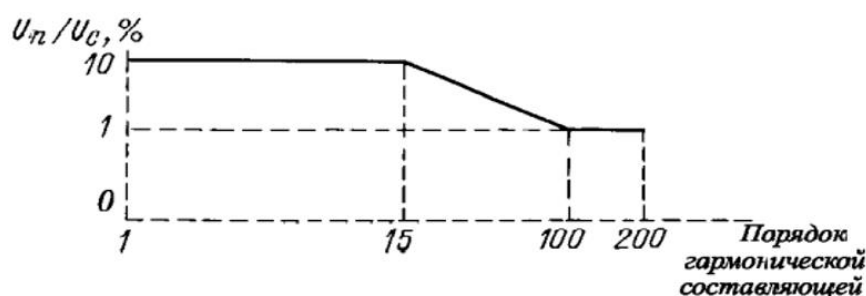


Рисунок 1. График высших гармонических составляющих судовой сети

Стандарты ряда стран регламентируют гармоники тока. Документ «Ограничение гармоник в электрических сетях» (Финляндия) устанавливает нормы на гармоники тока, которые могут течь в линии любого потребителя, присоединенного к точке общего присоединения (таблица 4). Эти нормы выражаются в процентах от среднечасовой нагрузки (I_{cp}).

$$K_{i(n)} = \frac{I_{(n)}}{I_{cp}} \cdot 100\% \quad (8)$$

Ограничения искажения кривой тока (Финляндия)

U _{ном} , кВ	Коэффициент искажения синусоидальности кривой тока K _i (%)	Коэффициент n-гармонической составляющей тока K _i (n)
3-20	10	8
30-45	7	6
110	5	4

Стандарт Новой Зеландии регламентирует допустимые уровни гармоник тока в линиях напряжением 66-220 кВ, а стандарт Англии от одного потребителя до точки общего присоединения. Стандарты ряда стран регламентируют наибольшие допустимые значения относительной мощности полупроводниковых преобразователей (S_n) по отношению к мощности короткого замыкания S_{кз} в точке подключения источника ВГ [8].

Таблица 13 – Допустимые значения относительной мощности преобразователей (Швеция)

Пульсность преобразователя	S _n /S _{кз} ·100%
Менее 6	0.5
6	1,0
12	2.0
Более 6	3.0

2. Исследование влияния высших гармонических на функционирование основного электрооборудования в судовых электроэнергетических системах

Основную часть электрооборудования электроэнергетических систем составляют асинхронные двигатели (АД), трансформаторы, кабельные сети, осветительные приборы. Следует также добавить установки на основе конденсаторных установок, так как конденсаторы наиболее подтверждены влиянию ВГ [8,9].

Асинхронные двигатели. Влияние ВГ на асинхронные АД проявляется в дополнительном нагреве обмоток, старении изоляции и возникновении тормозных моментов, обусловленных ВГ обратных последовательностей.

Добавочные потери в АД обусловлены токами n-ной гармоники ($\Delta P_{доб.n}$).

$$\Delta P_{доб.n} = 3 \cdot I_n^2 \cdot (r_{ст.n} + r'_{ротора.n}), \quad (9)$$

где, $r_{ст.n}$; $r'_{ротора.n}$ - соответственно активные сопротивления обмоток статора и ротора на частоте n-ной гармоники; I_n – ток n-ной гармоники.

При повышенных частотах в обмотках статора и ротора резко проявляется поверхностный эффект.

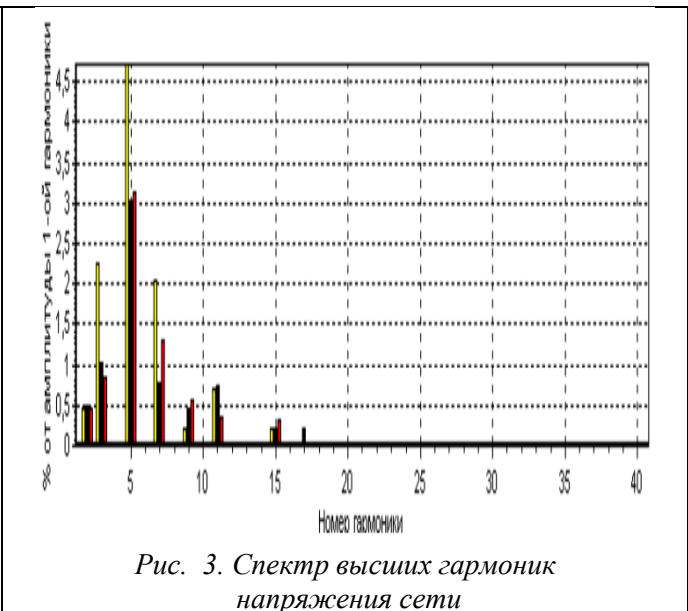
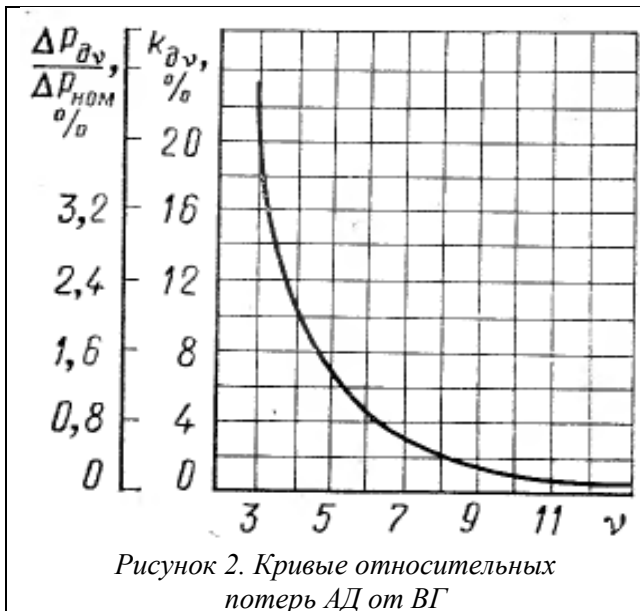
$$r_{ст.n} = r_{ст} \sqrt{n}; \quad r'_{ротора.n} = r'_{ротора} \cdot \sqrt{n}. \quad (10)$$

Расчетная формула для определения суммарных добавочных потерь имеет вид.

$$\Delta P_{\Sigma n} = \Delta P_{ст.ном} \cdot \sum_{n=2}^{40} K_{доп.n}, \quad (11)$$

где, $\Delta P_{ст.ном}$ - номинальные потери в обмотке статора.

На рисунке 2 показаны зависимости $K_{доп.n} = f(\nu)$.



В питающей сети, наряду с основной частотой имеем место ряд ВГ (рисунок 3). Пятая и одиннадцатая гармоники напряжения вызывают протекание по обмоткам статора токов 5 и 11 гармоник. Эти токи создают магнитные поля обратной последовательности, которые наводят в обмотке ротора ЭДС и соответственно протекание токов этих гармоник. В результате возникают тормозные моменты. ЭДС 7 и 13 гармоник создают моменты прямой последовательностей. Согласно [8,9] все названные моменты малы. Однако они приводят к вибрации АД.

Трансформаторы. Гармоники напряжения сети вызывают в трансформаторах: увеличение потерь на гистерезис; потерь, связанных с вихревыми токами в стали и потери в обмотках. Также сокращается срок службы изоляции.

Ток холостого хода трансформатора: имеет активную (i_{oa}) составляющую, обуславливающую потери в стали; реактивную (i_{op}) составляющую, определяющую индукцию и магнитный поток в сердечнике трансформатора (Рис. 4а). В однофазном трансформаторе реактивная составляющая тока холостого хода несинусоидальна вследствие насыщения магнитопровода трансформатора, что и обуславливает эмиссию высших гармоник тока в электрическую сеть (Рис. 4б) [9,10].

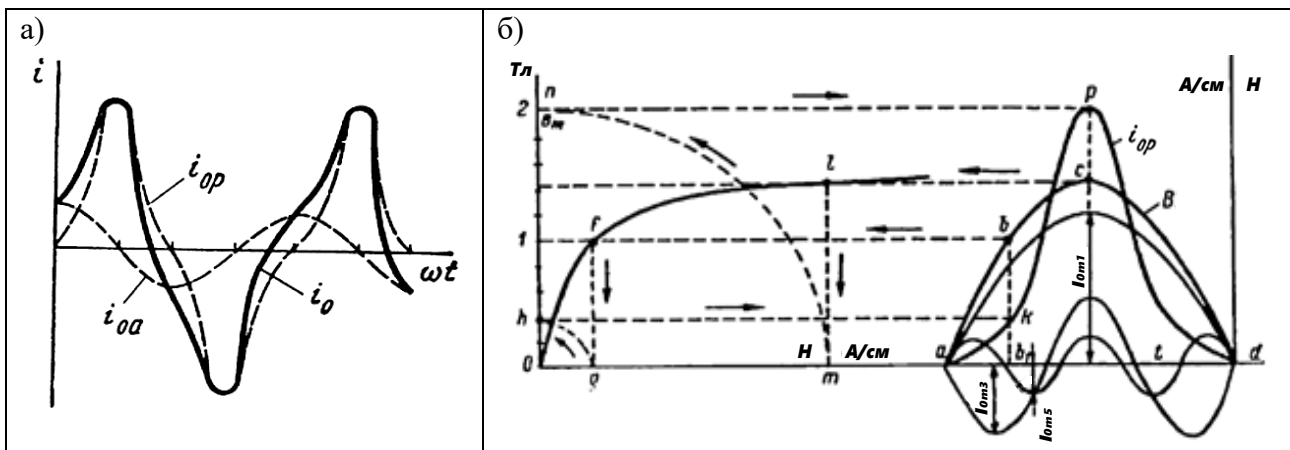


Рис. 4. Составляющие тока холостого хода (а) и анализ реактивной составляющей тока холостого хода (б) однофазного трансформатора

На основе экспериментальных исследований однофазного распределительного трансформатора были получены осциллограммы напряжения и тока холостого хода при $U=1,1U_{НОМ}$, представленные на рис. 5 а, а гармонические составляющие тока холостого хода представлены на рис. 5 б.

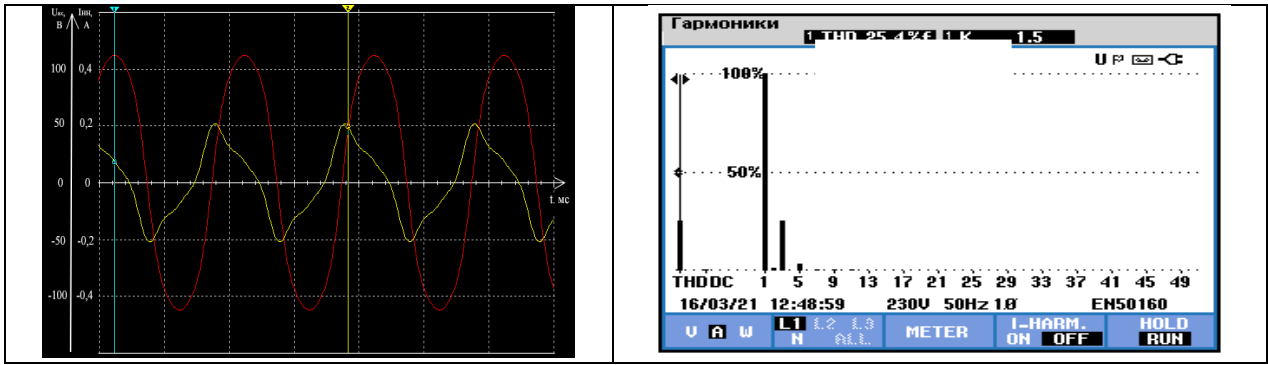


Рис. 5. Осциллограмма напряжения и тока (а) и уровень гармоник тока ($K_1=25,4\%$; $K_3=25,3\%$; $K_5=3,4\%$; $K_7=0,7\%$; $K_9=0,61\%$; $K_{11}=0,55\%$) (б) однофазного распределительного трансформатора

При соединении трехфазного трансформатора по схеме треугольник-звезда с нулевым проводом утроенный ток третьей гармоники циркулирует по обмотке, соединенной в треугольник, что вызывает в ней дополнительные потери.

Осветительные приборы. В настоящее время интенсивно идет переход на светодиодное освещение. Ведущие мировые фирмы – изготовители светильников на основе светодиодов обеспечивают питание светодиодов через драйвер, что практически исключает проникновение ВГ напряжения из сети на светодиод [11].

Силовые конденсаторы. Дополнительные потери в конденсаторах определяются по формуле 12.

$$\Delta P_{\text{доп}} = \sum_{n=2}^{40} \Delta p_0 \cdot \omega \cdot C \cdot n \cdot U_n^2, \quad (12)$$

где Δp_0 – удельные потери на основной частоте, Вт/Вар; C – емкость; U_n – напряжение n-гармоники.

Эти потери приводят к дополнительному нагреву конденсаторов. Поэтому конденсаторные установки для компенсации РМ проектируют так, чтобы они выдерживали перегрузку, обусловленную токами ВГ: в США - 80%, в РФ - 30%. Для получения исходных данных, необходимых для расчета следует провести исследование ВГ (рисунок 6).

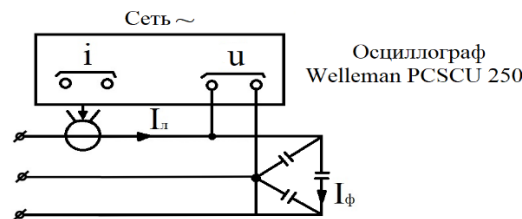


Рисунок 6. Лабораторная установка для исследования влияния ВГ на конденсаторы

Результаты исследований конденсаторной батареи емкостью 30мкФ приведены на рисунках 7 и 8, таблицах 6 и 7.

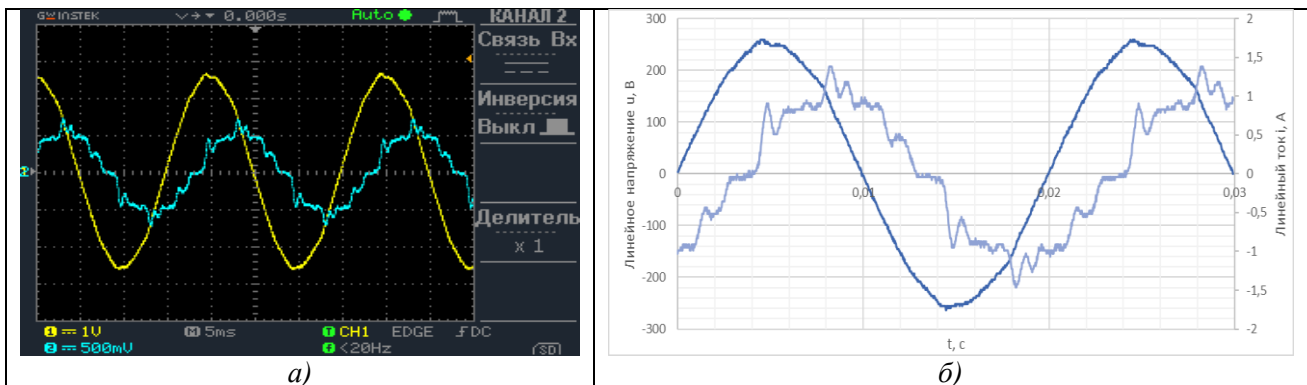


Рисунок 7. Осциллограммы линейных токов и напряжений: а) с осциллографа и их масштабирование (б)

Результаты обработки осциллограмм линейного тока и напряжения в цепи конденсаторной батареи

Гармонический состав напряжения				Гармонический состав тока			
Величина, %	L1	L2	L3	Величина, %	L1	L2	L3
THD	1,6	1,7	1,6	THD	14,1	16,7	15,9
H3	0,2	0,2	0,4	H3	0,9	0,1	1,2
H5	0,9	0,9	0,7	H5	4,4	4,3	3,6
H7	0,9	1,0	1,0	H7	6,4	6,9	7,4
H9	0,1	0,2	0,1	H9	0,6	1,1	0,8
H11	0,7	0,7	0,7	H11	7,8	8,5	7,7
H13	0,3	0,3	0,3	H13	3,4	4,0	4,9
H15	0,0	0,2	0,2	H15	0,3	2,2	2,2

Рисунок 8. Осциллограмма фазного тока 0,6 А конденсаторной батареи (а) и результаты ее обработки (б)

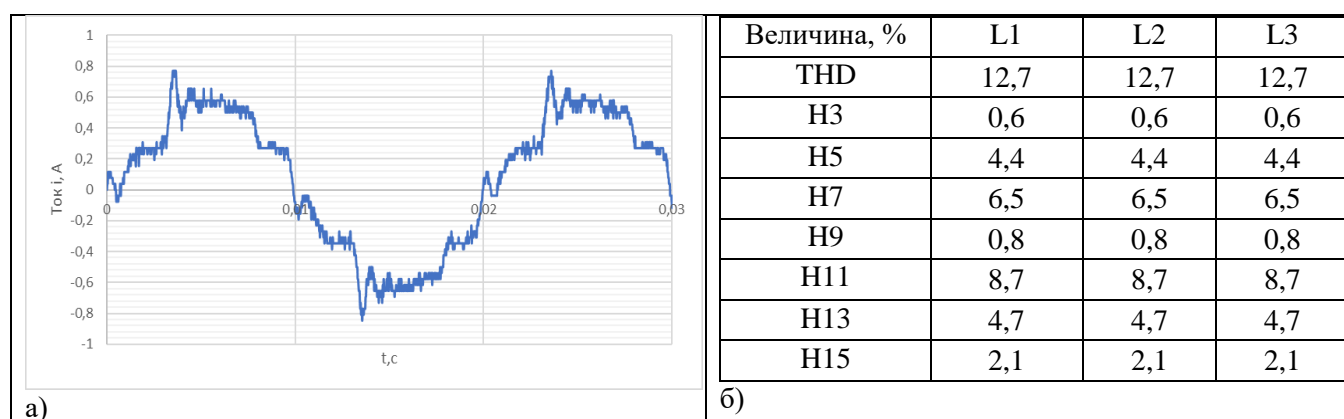


Рисунок 8. Осциллограмма фазного тока 0,6 А конденсаторной батареи (а) и результаты ее обработки (б) $THD \equiv K_U$ (формула 6)

Результаты измерений мощностей, токов в цепи конденсаторной батареи при $U_{\text{СЕТИ}} = 180\text{В}$

Параметры	L1	L2	L3
S, кВА	0,12	0,12	0,12
P, кВт	0,04	0,04	0,04
Q, кВАр	0,11	0,11	0,11
$I_{\text{лин}}, \text{A}$	1,027	1,024	1,02

Анализ полученных данных свидетельствует о протекании третьих и кратных им гармоник по двум линейным проводам и резкому увеличению ВГ тока в следствие уменьшения сопротивления конденсатора на частотах ВГ. Уровень гармоник тока также позволяет рассчитать токовую перегрузку конденсаторов.

Кабельные линии. Основные формы воздействия ВГ на кабельные линии: воздействие на диэлектрик пропорционально увеличению максимального значения амплитуды. Что приводит к повреждению кабеля; дополнительные потери в токопроводящих жилах [9,12].

При протекании несинусоидального тока по фазным жилам потери в жиле определяются по выражению:

$$P_{\text{фазн1}} = I_1^2 \cdot r_1 + \sum_{n=2}^{40} I_n^2 \cdot r_n, \quad (13)$$

где I_1 – действующее значение тока основной частоты, r_1 – активное сопротивление на основной частоте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 13109-67. Электрическая энергия. Normы качества электрической энергии у ее приемников, присоединенных к электрическим сетям общего назначения.
2. ГОСТ 13109-87. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения.
3. ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Normы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
4. ГОСТР 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Normы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. ГОСТ 321442013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Normы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. (Введен с 01.07.2014).
6. The standard BS EN50160:2010 "Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks.- 34p.
7. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов НД № 2-020101-114. 2019
8. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятия. М.: Энергоатомиздат, 1974г. 160стр.
9. Дж. Арриллага, Д. Брэдли, П. Броджер. Гармоники в электрических системах. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320стр.
10. Либкинд М.С. Высшие гармоники, генерируемые трансформаторами. – М.: АН СССР, 1962. – 112 с.
11. Белей, В.Ф. Светодиодные лампы в системах судового освещения: вопросы электромагнитной совместимости / В.Ф. Белей, М.С. Харитонов // Вестник МГТУ. – 2016. – Т.19. – № 4. – С.687-696.
12. Тульский В.Н. Влияние высших гармоник тока на режимы работы кабелей распределительной сети 380 В/ Тульский В.Н., Карташов И.И., Насыров Р.Р., Симуткин М.Г. // Промышленная энергетика. – 2013. – № 5. – С. 39-44.

DEVELOPMENT OF WIND TURBINE AUTOMATIC CONTROL ALGORITHM

¹Beley Valery Feodosievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Equipment for Ships and Electric Power Industry

²Reshetnikov Gleb Aleksandrovich, Leading Engineer, Department of Electrical Equipment for Ships and Electric Power Industry

³Brizhak Roman Olegovich, postgraduate student of the Department of Electrical Equipment for Ships and Electric Power Engineering

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Russia,

e-mail: ¹vbeley@klgtu.ru; ²gleb.reshetnikov@klgtu.ru;

³brizhak12@gmail.com

One of the directions of scientific and technological progress at the facilities of the marine industry is the widespread use of technologies based on nonlinear elements. However, the use of such technologies leads to an increase in reactive power consumption, a deterioration in the quality of electrical energy, primarily due to higher harmonic ones. The article analyzes the sections "Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships ND No. 2-020101-114. 2019", Russian and a number of foreign standards in the field of power quality, regulating the level of higher harmonic in electrical networks. The results of the study of the influence of higher harmonics on the functioning of the main electrical equipment in ship power systems are presented.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОГО ЗАЩИТНОГО ЭФФЕКТА ОТ ПРИМЕНЕНИЯ НА СУДАХ КОМПЕНСАТОРОВ КГТУ

¹Благинин Владимир Анатольевич, канд. техн. наук, доцент

²Волкогон Владимир Алексеевич, канд. экон. наук, доцент

³Кажекин Илья Евгеньевич, канд. техн. наук

¹Филиал Военно-учебного научного центра ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова» (г. Калининград), Калининград, Россия, e-mail: ¹npp-met@rambler.ru

²ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ³kazhekin@mail.ru

Цель и новизна работы заключалась в экспериментальном подтверждении возможности существенного расширения технических приложений принципа Петерсена, широко известного в промышленной электроэнергетике способа гашения высоковольтных устойчивых заземляющих электрических дуг, на задачи противокоррозионной защиты судов с низковольтными электроэнергетическими системами.

Введение

В результате проведения комплекса исследований, выполнявшихся в КГТУ, было показано, что между бортовыми электроэнергетическими системами (ЭЭС) и корпусами судов существует довольно тесное электрическое взаимодействие, оказывающее значительное негативное влияние на эксплуатационные свойства морской и речной техники. Среди них наиболее опасными последствиями влияниями бортовых ЭЭС представляются ухудшения показателей пожаро- и электроопасности судов. Однако, крайне нежелательны и некоторые иные виды воздействия бортовых ЭЭС на эксплуатационные свойства судов. Среди них, в частности, следует отметить увеличение скорости истощения остаточного ресурса судов и повышение их эксплуатационной аварийности.

Ослабление электрического взаимодействия бортовых ЭЭС с корпусами судов и соответствующее улучшение эксплуатационных свойств морской техники принципиально возможно. Для решения этой задачи в КГТУ были разработаны и запатентованы специальные устройства, называемые компенсаторами. Они представляют собой новый класс судовых защитных устройств, которые пока не применялись ни на отечественных, ни на иностранных судах.

Согласно экспертным оценкам использование компенсаторов на судах признается весьма целесообразным. Однако, с другой стороны, отсутствует какой-либо опыт их применения на объектах морской или речной техники. В связи с этим Главное управление Российского речного регистра (РРР) предложило подготовить и провести эксперимент по длительной эксплуатации одного из компенсаторов КГТУ на действующем судне. Цель эксперимента заключалась в том, чтобы убедиться в эффективности компенсаторов как средства защиты судов, а также в проверке эксплуатационной надежности и безопасности принятой конструкции компенсатора. Кроме того, представляется важным приобрести некоторый опыт применения подобных защитных устройств на работающих объектах морской техники.

В 2012 году проведение такого эксперимента было начато. Он продолжился около 8.5 лет. Его результаты позволили сделать вывод о достаточно высокой эффективности компенсаторов, проявляющейся в предотвращении опасных и разрушающих воздействий на суда со стороны их собственных электросистем. В частности, было экспериментально подтверждено существование ранее прогнозирувавшейся способности компенсаторов подавлять процессы электрохимической коррозии в судовых частях и конструкциях. В условиях достигнутого уровня нормативного износа основной части отечественных судов способность компенсаторов предотвращать их дальнейший коррозионный износ может предоставлять значительный интерес как для судовладельцев, так и для

судостроительной отрасли. Ниже описывается та часть проведенного эксперимента, которая касается указанного противокоррозионного защитного эффекта, связанного с применением компенсаторов КГТУ.

1. Особенности проведения эксперимента и его общие результаты

Для проведения опытной эксплуатации компенсатора был выбран портовый буксир-кантовщик «В. Албанов», показанный на рисунке 1. Это судно принадлежит Калининградскому морскому рыбному порту (КМРП). Оно полностью отвечало задачам эксперимента, поскольку использовалось круглогодично и всегда было доступно для проведения контроля его технического состояния. Администрация КМРП согласилась с использованием судна в эксперименте, поскольку его возраст тогда составлял 26 лет. Применение компенсатора создавало возможность сохранения остаточного ресурса судна и значительного продления срока его экономически оправданной эксплуатации.



Рис. 1. БК «Василий Албанов» и установленный на его борту компенсатор КГТУ

Для проведения эксперимента речным регистром, под наблюдением которого находился буксир, был изменен его класс на «экспериментальный» и в обозначение нового класса была введена литера «Э». В связи с этим его техническое состояние постоянно контролировалось Калининградским подразделением РРР. Усиленный контроль состояния судна осуществлялся службой портофлота КМРП и его экипажем. В ряде случаев администрация порта привлекала водолазов для проведения визуального контроля подводных частей судна и его протекторной защиты от коррозии. Кроме того, состояние компенсаторов и бортовой электросистемы в различных режимах работы судна в акватории порта регулярно проверяли представители КГТУ.

Эксперимент продолжался 101 месяц и был приостановлен 31 марта 2021 года в связи с административными изменениями в работе порта, совпавшими с завершением срока действия регистровых документов судна. На момент приостановки эксперимента возраст судна составил 34 года. Несмотря на такой возраст и на достаточно продолжительный период наблюдения за его аварийностью, в ходе эксперимента на судне не произошло ни одного отказа или повреждения ни в одной его части или в элементе. Отсутствие аварийности судового оборудования наблюдалось в условиях, когда и без того сравнительно небольшие корпусные токи в результате использования компенсатора уменьшились в 2,8 раза, а максимальные величины дуговых перенапряжений, показанных на осциллограммах рисунка 2 сократились на 22-50 % при одновременном многократном уменьшении частоты их возникновения. В этом заключается общий результат функционирования компенсатора КГТУ на буксире «В. Албанов». Он позволяет предположить, что в случае возобновления эксплуатации буксира – безаварийный характер его работы продолжится.

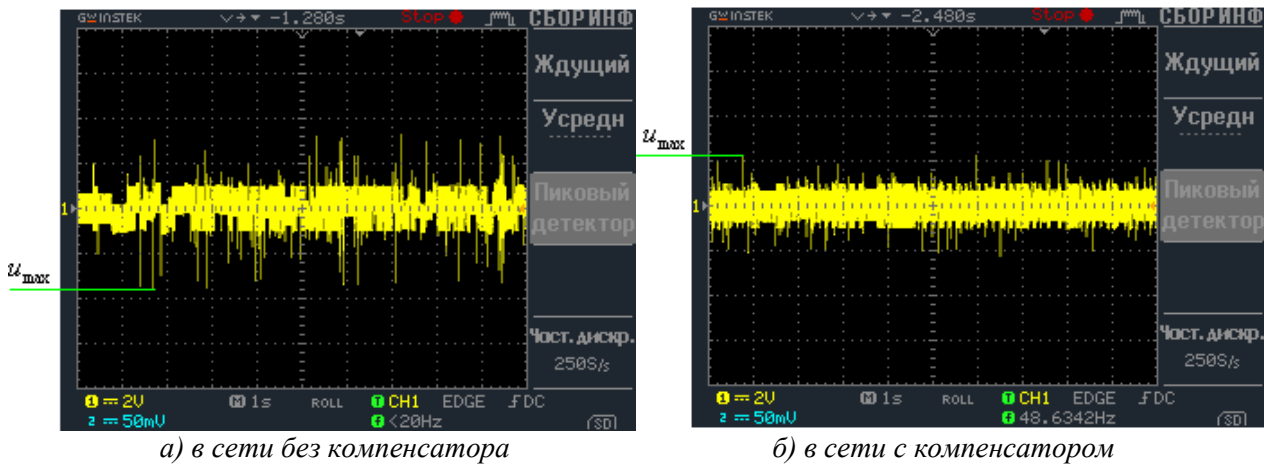


Рис. 2. Перенапряжения на одной из неповрежденных фаз при неустойчивом однофазном замыкании на корпус в сети с изолированной нейтралью и после подключения компенсатора

2. Принцип действия компенсатора КГТУ

Действие компенсатора направлено на многократное увеличение сопротивления корпусной изоляции ЭЭС переменному току. Выше было отмечено, что связь между бортовой электросистемой и корпусом судна осуществляется вследствие их емкостного взаимодействия через корпусную изоляцию. Если на емкостный синусоидальный ток утечки на корпус, протекающий через изоляцию, наложить индуктивный ток, находящийся в противофазе с током утечки, то при соблюдении равенства суммируемых токов они практически полностью компенсируют друг друга и их совокупный ток окажется близким к нулю. На рисунке 3 показана V-образная характеристика для бортовой электросистемы с компенсатором, отражающая изменение величины корпусного тока вблизи точной резонансной настройки компенсатора, соответствующей емкостным параметрам корпусной изоляции.

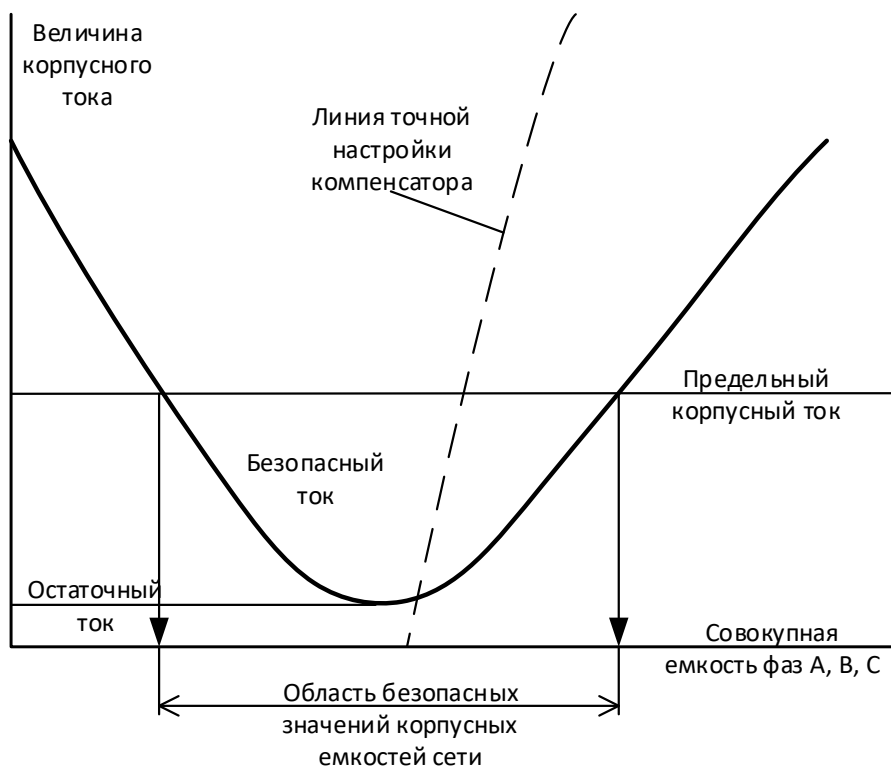
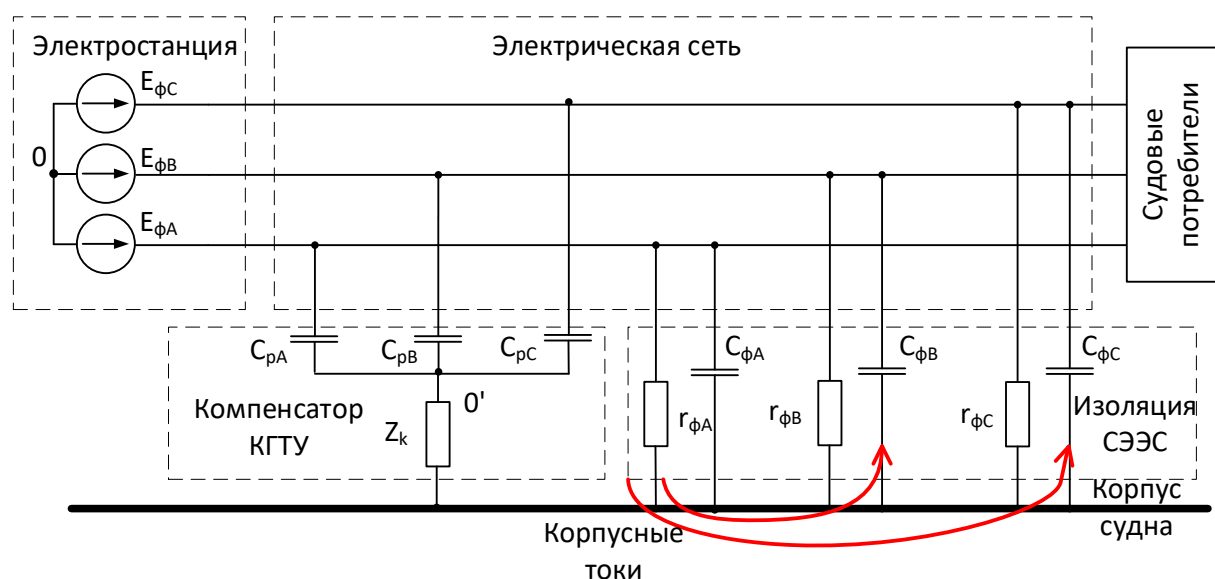


Рис. 3. V-образная характеристика бортовой электросистемы с компенсатором при произвольном изменении ее фазных емкостей

На описанном принципе Петерсена основана работа компенсатора КГТУ. Его использование не противоречит Правилам морского регистра, допускающего заземление нейтрали ЭЭС через реактор [1]. Его схема вместе со схемой замещения ЭЭС приведены на рисунке 4.



C_A, C_B, C_C – емкости корпусной изоляции фаз А, В, С по отношению к корпусу судна, создающие емкостные проводимости изоляции $\omega \cdot C_A, \omega \cdot C_B$ и $\omega \cdot C_C$;

r_A, r_B, r_C – активные сопротивления изоляции фаз А, В, С по отношению к корпусу судна, обратные активным проводимостям корпусной изоляции g_A, g_B, g_C ;

Z_k – активно-индуктивное сопротивление компенсатора;

C_{pA}, C_{pB}, C_{pC} – фазные разделительные конденсаторы, отделяющие по постоянному току компенсатор от корпуса судна и позволяющие контролировать изоляцию мегаомметрами.

Рис. 4. Схема замещения бортовой электроэнергетической системы с изолированной нейтралью и с подключенным компенсатором КГТУ

Первоначально принцип компенсации емкостных токов путем наложения на них индуктивного тока был выдвинут Петерсеном в 1917 году. Все последующие десятилетия он развивался и совершенствовался. В настоящее время этот принцип получил широкое распространение в промышленной электроэнергетике как способ гашения заземляющих электрических дуг. В то же время в судовых низковольтных ЭЭС он пока не применяется, поскольку обычно считается, что устойчивые заземляющие дуги в низковольтных электросистемах возникать не могут.

Эксперимент по многолетнему использованию компенсатора на одном из действующих судов оказался первым и достаточно успешным опытом применения принципа Петерсена на объектах морской и речной техники. Он показал, что принцип Петерсена может иметь гораздо более широкие приложения, чем хорошо известный эффект гашения однофазных заземляющих дуг.

3. Результаты противокоррозионной защиты судов компенсатором КГТУ

Процесс электрохимической коррозии судовых стальных конструкций развивается в течение десятков лет. В рамках проведенного эксперимента для ускоренной регистрации способности компенсатора предотвращать коррозионные разрушения судовых конструкций прежде всего использовались результаты осмотров протекторов, изготавливаемых из коррозионно активных металлов и предназначенных для противокоррозионной защиты судов [2].

Обычно замена протекторов проводится примерно один раз в пять лет во время докования судна. В течение последних пяти лет их разрушению препятствовало защитное действие компенсатора. Осмотры состояния протекторов, проводившиеся водолазами, показали, что в течение этого периода протекторы оставались практически в исходном состоянии. В то же время в предшествующий пятилетний период, когда компенсатор защищал судно только часть этого времени, произошло

более значительное разрушение протекторов и их пришлось заменить на новые. Таким образом, коррозионные разрушения протекторов, а, следовательно, самого корпуса судна в условиях использования компенсатора оказались весьма небольшими.

Заключение

Компенсатор КГТУ является защитным устройством, расширяющим область применения принципа Петерсена. Он заключается в компенсации емкостного тока утечки через изоляцию накладываемых на него индуктивным током реактора. Принцип Петерсена широко используется в промышленной энергетике для гашения устойчивых заземляющих электрических дуг. Однако, как показали исследования, его возможности намного шире. Он может использоваться в решении целого ряда иных задач, возникающих при эксплуатации судовых электроэнергетических систем, пока не только не используются, но остаются мало изученными или неизвестными специалистам в области судовой электротехники.

Проведенные исследования подтвердили возможности принципа Петерсена. В ходе многолетнего эксперимента впервые была показана эффективность его использования для защиты судовых конструкций от их электрохимической коррозии. В условиях значительного нормативного износа отечественного морского флота широкое применение компенсаторов КГТУ может оказаться эффективным средством дальнейшего продления сроков безаварийной и безопасной эксплуатации морской техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов. Ч.ХІ: Электрическое оборудование. / Российский морской регистр судоходства. – СПб.: «Издательство Российского морского регистра судоходств» - 2020. – 331 с
2. Коррозия и защита судов: Справочник / под ред. Е.Я. Люблинского, В.Д. Пирогова. – Л., «Судостроение», 1987. – 376 с.

EXPERIMENTAL CONFIRMATION OF ANTI-CORROSIVE PROTECTIVE EFFECT OF APPLICATION OF KSTU COMPENSATORS ON SHIPS

¹Blagin Vladimir Anatolyevich, Candidate of Sciences in Technology, associate professor

²Volkogon Vladimir Alekseevich, Candidate of Sciences in Economics, associate professor

³Kazhekin Ilya Evgenievich, Candidate of Sciences in Technology

¹Branch of the Military Educational Scientific Center of the Navy "Naval Academy named after N.G. Kuznetsov" (Kaliningrad), Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹npp-met@rambler.ru

²FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia, e-mail: ³kazhekin@mail.ru

The purpose and novelty of the work was to experimentally confirm the possibility of a significant expansion of the technical applications of the Petersen principle, which is widely known in the industrial electric power industry as a method of extinguishing high-voltage stable grounding electric arcs for the tasks of anticorrosive protection of ships with low-voltage electrical systems.

ПОИСК НОВЫХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ СУДНА

¹Власов Анатолий Борисович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования судов

²Буев Сергей Александрович, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов

ФГАОУ ВО «Мурманский государственный технический университет»,
Мурманск, Россия, e-mail: ²buevsa@mstu.edu.ru

До настоящего времени не создана такая система профилактических мероприятий, которая позволяла бы оценивать остаточный ресурс и прогнозировать вероятность выхода судового кабеля из строя в процессе его эксплуатации. В настоящей работе диагностика состояния судового кабеля осуществляется путём определения тангенса угла диэлектрических потерь его изоляции. Данный метод может применяться наряду с традиционными методами для технического аудита кабельной сети судна. При этом вывод о текущем состоянии кабеля и прогнозе его срока службы можно делать только на основании результатов комплексной диагностики, выполненной несколькими методами.

Введение

Актуальным остаётся вопрос о разработке системы технического аудита изоляции силовых кабелей неразрушающими методами, с помощью которой можно было бы оценивать остаточный ресурс и прогнозировать вероятность выхода кабеля из строя в процессе его эксплуатации.

Прежде всего, это связано с тем, что диагностические параметры и принятые пределы ухудшения состояния изоляции не согласованы в достаточной степени с электроизоляционными характеристиками, недостаточно изучены физико-химические процессы старения изоляции, развивающиеся во времени [1].

Аварии на крупных энергетических объектах и предприятиях, в ряде случаев связаны с нарушением изоляции силовых кабелей, их самовозгоранием, потерей электроизоляционных свойств. Особую опасность подобные аварии представляют на атомных станциях, крупных нефтеперерабатывающих предприятиях, в кабельных сетях промышленных предприятий и т.д.

К объектам повышенной пожаро- и электроопасности относятся морские и речные суда, к электрическому оборудованию которых применяются самые жесткие требования по электробезопасности.

Контроль качества изоляции на судах имеет большую важность и значимость. В процессе судоремонта и замены кабельных трасс возникает вопрос о пригодности той или иной кабельной трассы к дальнейшей работе после длительной эксплуатации. Именно поэтому вопросы прогнозирования срока службы являются актуальными.

Современные технологии позволяют получать материалы с улучшенными характеристиками, однако, кабели с резиновой изоляцией являются самыми распространенными. Процессы старения изоляции электрических кабелей на судах характеризуются несколькими важными факторами: повышенными значениями температуры и влажности воздуха. Поэтому разработка методов прогнозирования срока службы изоляции тесно связана с уточнением условий эксплуатации.

1. Тепловой метод прогнозирования срока службы кабелей с резиновой изоляцией

Безаварийная и длительная работа кабельных трасс морского судна обеспечивается непрерывным контролем за сопротивлением изоляции.

Эксплуатация кабеля при высокой температуре окружающей среды или непосредственный нагрев изоляции за счет больших токов жил нагрузки вызывает ускоренное старение изоляции и сокращение срока службы. Допустимый нагрев жил кабелей с пластмассовой изоляцией в аварийном режиме должен быть не более для ПВХ пластиката – 80 °С, полиэтилена – 80 °С, вулканизирующегося полиэтилена – 130 °С [2].

В связи с трудностью непосредственного определения температуры жилы кабеля $T_{ж}$, рекомендуется выполнять перерасчет измеренной температуры оболочки кабеля по соотношению [3]:

$$T_{ж} = \frac{T_{об} + I^2 n \rho \cdot S_k}{100 \cdot q}, \quad (1)$$

где $T_{об}$ – температура по оболочке кабеля, °С; I – сила тока; n – число жил кабеля; ρ – удельное сопротивление меди или алюминия при температуре, близкой к температуре жилы, Ом·мм²/м; S_k – сумма тепловых сопротивлений изоляции и защитных покровов кабеля, Ом; q – сечение жилы кабеля, мм².

В литературе указываются значения для температуры жилы кабеля, при которой обеспечивается длительный срок службы. Так для кабелей с оболочкой с ПВХ пластикатом температура жил не должна превышать 70 °С [3].

В энергетике температурный контроль рекомендуется проводить с помощью тепловизора не менее 2-х раз год на участках кабельных трасс, где есть опасность его перегрева [7].

Анализ теплового состояния различных участков кабельных трасс на судах показывает, что в некоторых помещениях температура кабельных трасс превышает 80 °С (рис. 1) [3].

В зависимости от тока нагрузки температура судовых кабелей может отличаться. Штатными приборами судовой электроэнергетической сети невозможно выделить участки трассы с повышенной температурой, однако, использование тепловизионной техники позволяет надежно идентифицировать локальные перегревы. Однако в связи с особенностью прокладки кабельных трасс, выявление аварийных дефектов с помощью тепловизора не всегда возможно.

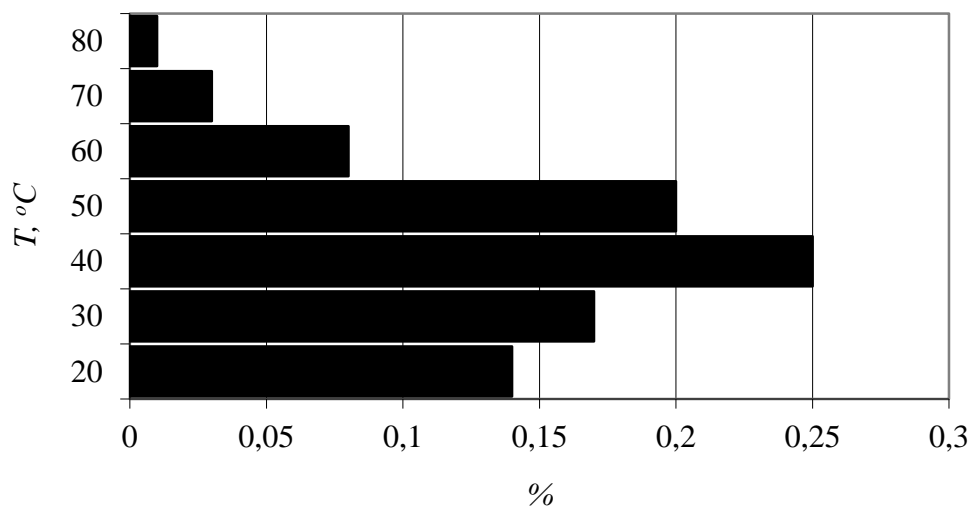


Рис. 1. Гистограмма выборки температур кабельных трасс на судах

2. Измерение тангенса угла диэлектрических потерь судового кабеля

С целью наблюдения за изменением тангенса угла диэлектрических потерь с течением времени, судовой кабель подвергался ускоренному термическому старению при температуре 110 °С.

Для проведения испытаний нами был выбран кабель КНРП (кабель негорючий с резиновой изоляцией и оплеткой из стальных проволок) 7х1, который используется на морских судах.

Данный кабель помещался в термостат с температурой 110 °С. Для измерения механических характеристик (параметры твердости, эластичности) его изоляции использовался твёрдомер резины по Шору NOVOTEST ТШ-Ц, для определения тангенса угла диэлектрических потерь применялся измеритель параметров изоляции Тангенс-2000.

Перед измерением параметров изоляции кабель вынимался из термостата. Измерения тангенса угла диэлектрических потерь проводились после установления равновесной температуры 18-22 °С. Результаты измерений представлены на рис. 2-3.

Первое измерение $tg\delta$ после 23 часов нахождения кабеля в условия повышенной температуры 110 °С показало уменьшение $tg\delta$ по сравнению со значением, измеренным до испытаний, в два раза (рис. 2). В последующие часы термического старения кабеля показания $tg\delta$ уменьшаются ещё на 100 % за 1000 часов. Далее в период времени с 1000 до 2000 часов значение тангенса угла диэлектрических потерь изменяется незначительно. После 2500 часов и до 3000 часов наблюдается незначительное повышение значения $tg\delta$ (рис. 3).

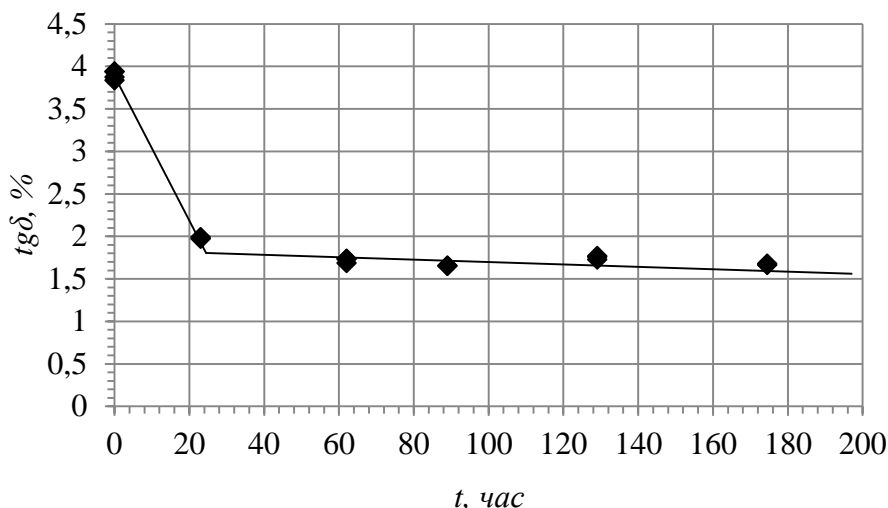


Рис. 2. Результаты измерений $tg\delta$ в первые 200 часов проведения испытаний судового кабеля

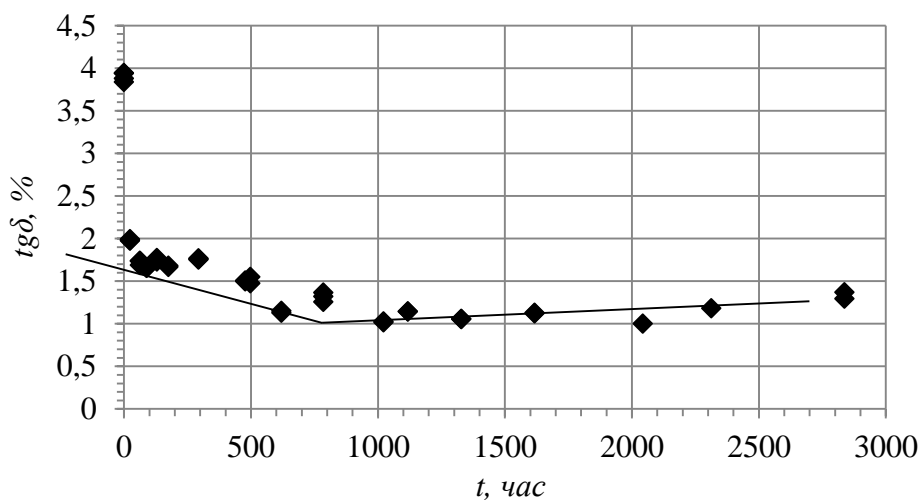


Рис. 3. Результаты измерений $tg\delta$ за 3000 часов проведения испытаний судового кабеля

Из данного графика (рис. 3) можно сделать вывод о том, что, не считая резкого падения значения $tg\delta$ с 4 % до 2 % в первые несколько часов наблюдений, в последующее время наблюдений показания $tg\delta$ изменяются в пределах от 1 до 2 %. Стабилизация значений тангенса угла диэлектрических потерь может свидетельствовать о пригодности кабеля, однако как показывают результаты предыдущих исследований [1-3], твёрдость оболочки кабеля, а тем более твёрдость изоляции жил кабеля, достигают критических значений, при которых шланговая изоляция и изоляция жилы кабеля теряют упругие свойства, повышается их твердость, и в изоляции накапливаются микротрещины, уже после 300 часов нахождения кабеля при температуре 110 °С, и в последующем значения твердости только увеличиваются. Таким образом, контролируя параметр $tg\delta$, необходимо дополнительно следить за показателями твёрдости изоляции кабеля.

На рис. 4 представлена зависимость значения $C(t)$. В период времени 300 – 3000 часов изменения значений ёмкости не являются значительными. Ёмкость судового кабеля резко падает в первые 200 часов нахождения кабеля при температуре 110°C, это объясняется тем, что из изоляции кабеля при нагревании активно выходят пластификаторы, так называемые полярные вещества, которые придают эластичность материалу. Затем постепенно возрастает сшивание молекул, материал становится более жестким, значение параметра ёмкости стабилизируется.

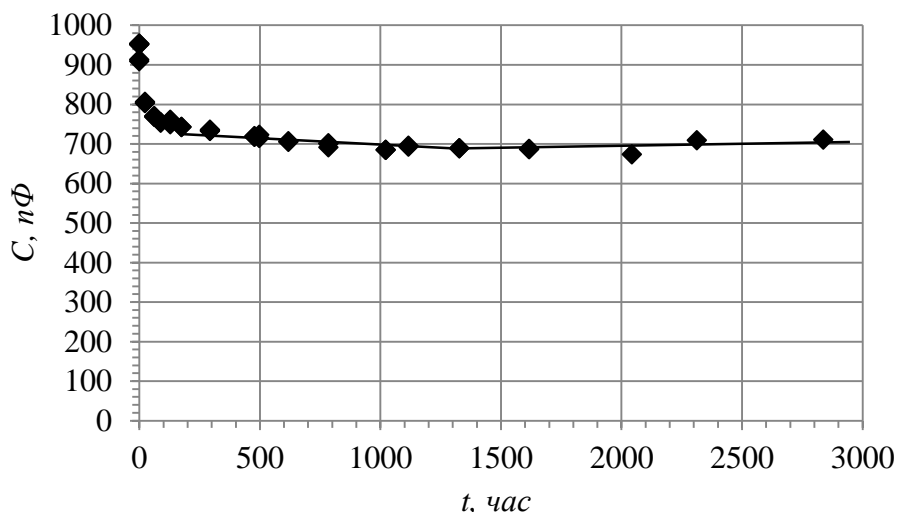


Рис. 4. Значение ёмкости судового кабеля в процессе термического старения кабеля при температуре 110 °С

Для исследования зависимости $tg\delta$ от температуры, были выполнены серии измерений при остывании кабеля. В процессе понижения температуры кабеля до температуры окружающей среды производился контроль его температуры с помощью тепловизора FLUKE thermovision camera Ti400 с одновременным измерением значений тангенса угла диэлектрических потерь изоляции. На рис. 5 представлена термограмма судового кабеля в процессе остывания с подключенным оборудованием для измерения тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$, температура кабеля 40 °С.

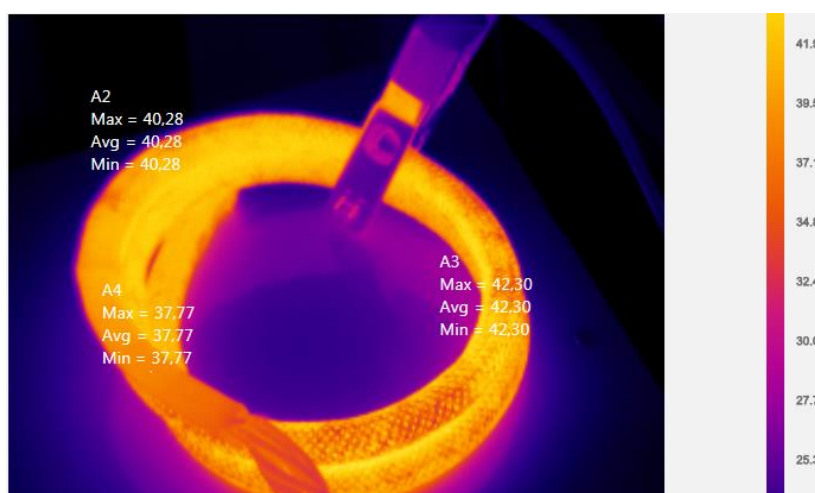


Рис. 5. Термограмма судового кабеля (состарен при температуре 110 °С в течение 2313 часов)

Значения $tg\delta$ и ёмкости кабеля C при понижении температуры кабеля с температуры 100 °С до 20 °С представлены на рис. 6 и рис. 7. В отличие от монотонного уменьшения ёмкости (рис. 7), параметр $tg\delta$ при остывании со 100 до 60 °С не изменяется (рис. 6). Однако при остывании с 60 до 20 °С значение $tg\delta$ уменьшается более чем на 80 %.

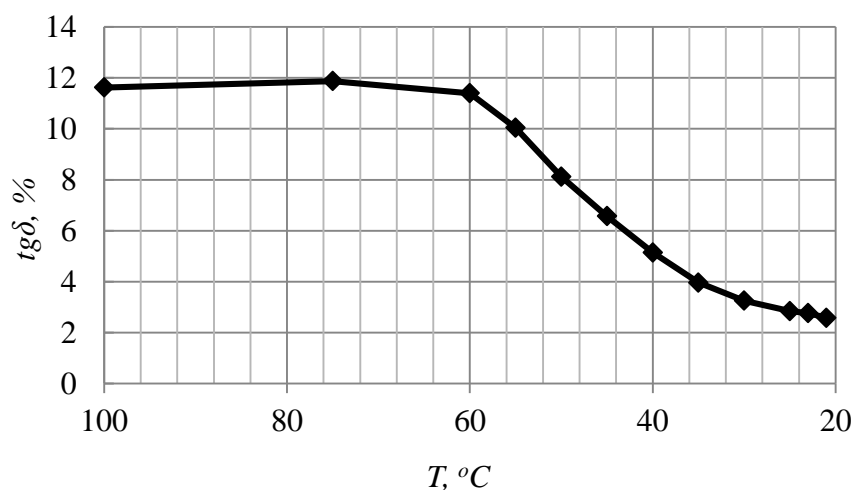


Рис.6. Зависимость значения $tg\delta(T)$ при понижении температуры кабеля с температуры 100 °C до 20 °C

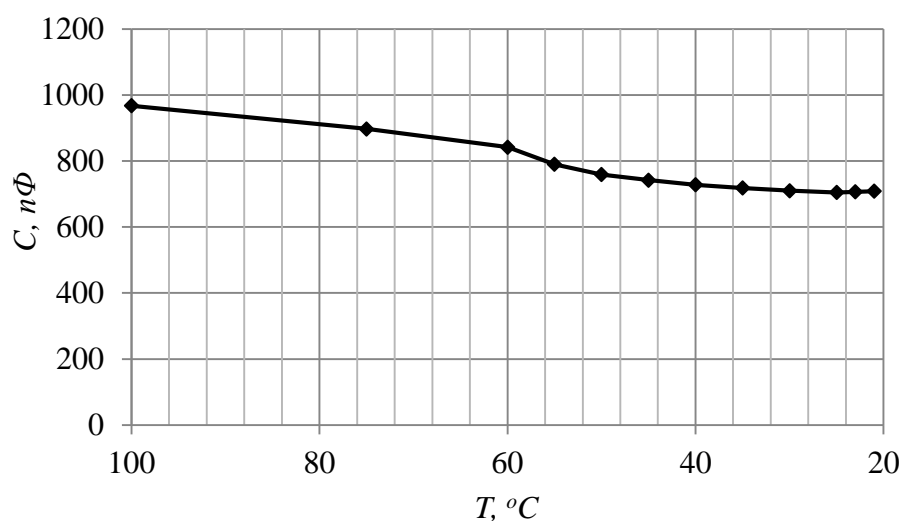


Рис.7. Зависимость значения $C(T)$ при понижении температуры кабеля с температуры 100 °C до 20 °C

Выводы

Представленные результаты значений $tg\delta$ показывают, что предлагаемая методика позволяет использовать этот параметр как диагностический, поэтому при принятии экспертного решения о дальнейшей эксплуатации судового кабеля либо его замене необходимо руководствоваться совокупностью результатов диагностики различными методами, такими как инфракрасная диагностика, метод контроля твердости изоляции кабеля и параметра $tg\delta$.

Учитывая высокую пожароопасность кабельных трасс, рекомендуется проводить регулярную диагностику для выявления опасных участков.

Тангенс угла диэлектрических потерь может использоваться как диагностический параметр при предиктивной оценке состояния судового кабеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.Б. К вопросу о сроке службы кабелей / А.Б. Власов // Судостроение. – 2003. – №1. – С. 45-48.
2. Власов А.Б., Буев С.А. Оценка состояния судового кабеля посредством измерения характеристик его изоляции / Власов А.Б., Буев С.А. // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2020. Т. 23. № 4. – С. 335-344.

3. Власов А. Б. Модели и методы термографической диагностики объектов энергетики. – М.: Колос, 2006. – 280 с.
4. Vlasov A., Buev S. Comparison of diagnostic methods for thermal aging of shipboard cable // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 5th Intern.conf. "Arctic: History and Modernity", 18-19 March, 2020, Saint-Petersburg, Russia, 2020. Vol. 539. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012127.
5. Vlasov A., Buev S. Some aspects of using IR-cameras in arctic navigation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 5th Intern.conf. "Arctic: History and Modernity", 18-19 March, 2020, Saint-Petersburg, Russia, 2020. Vol. 539. DOI: 10.1088/1755-1315/539/1/012136.
6. Калявин В.П., Рыбаков Л.М. Надёжность и диагностика элементов электроустановок. – СПб.: Элмор, 2009. – 336 с.
7. РД 153-34.0-20.363-99. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ. – М.: ОРГРЭС, 1999.

SEARCH FOR NEW DIAGNOSTIC METHODS OF THE CURRENT TECHNICAL CONDITION OF THE SHIP CABLE NETWORK

¹Vlasov Anatoly Borisovich, doctor of science, professor, chief of the ship electrical department

²Buev Sergey Aleksandrovich, candidate of sciences, docent of ship electrical department

Murmansk state technical university, Murmansk, Russia, e-mail: ²buevsa@mstu.edu.ru

In the article we try to express a method for assessing the technical condition of the ships cables. The tangent of the dielectric loss angle can be used as a diagnostic parameter for predictive assessment of the condition of a ship's cable. To study the dependence of $\operatorname{tg}\delta$ on temperature, a series of measurements were performed while the cable was cooling. In the process of lowering the cable temperature to the ambient temperature, its temperature was monitored using a FLUKE thermovision camera Ti400 thermal imager with simultaneous measurement of the tangent of the insulation dielectric loss angle.

УДК 681.2.083:621.317.38

ВЫЧИСЛЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ПРОМЫШЛЕННОМ КОНТРОЛЛЕРЕ

Геллер Борис Львович, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: rector@klgtu.ru

Целью работы является анализ погрешности расчета активной мощности, обусловленной дискретизацией отсчетов при аналого-цифровом преобразовании сигналов напряжения и тока, получаемых непосредственно от трансформаторов. Определена величина максимально возможной приведенной погрешности, предложена инженерная методика выбора длительности интервала усреднения, обеспечивающей погрешность не выше заданной.

Современные системы управления судовыми техническими средствами строятся на базе промышленных контроллеров. Наряду со специализированными контроллерами (например, DEIF), предназначенными для выполнения конкретных задач, широкое применение нашли универсальные

контроллеры (LOGO!, Simatic-S7, ОВЕН), отличающиеся низкой стоимостью, обеспечивающие высокий уровень унификации и пригодные для решения широкого круга задач.

Особенностью систем управления судовыми электроэнергетическими процессами является необходимость вычисления активной мощности. Типичным способом расчета активной мощности P является вычисление мгновенной мощности как произведения мгновенных значений напряжения $u(t) = U_m \sin \omega t$ и тока $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ с последующим усреднением. Эта операция может производиться непосредственно в управляющем контроллере. В этом случае отпадает необходимость использования промежуточных измерительных преобразователей, так как сигналы напряжения и тока могут подаваться на входы контроллера непосредственно с трансформаторов.

В промышленных контроллерах сигналы тока и напряжения перемножаются после аналого-цифрового преобразования, которое происходит циклически с некоторым периодом $T_{ц}$. В связи с этим представляет интерес погрешность, вызванная дискретизацией сигнала, и ее связь с величиной $T_{ц}$ и с длительностью интервала усреднения.

Рассмотрим вначале случай, когда период напряжения сети T кратен $T_{ц}$. Тогда интервал усреднения равен T . Пусть для усреднения берется n отсчетов. Тогда активная мощность $P_{д}$, вычисленная как среднее мгновенных значений мощности, равна

$$P_{д} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left[u \left(\frac{2\pi}{n} k + \psi \right) \cdot i \left(\frac{2\pi}{n} k + \psi - \varphi \right) \right], \quad (1)$$

где ψ – фазовый угол первого за период отсчета.

Подставляя в (1) выражения для мгновенных значений напряжения и тока, после элементарных преобразований получаем:

$$P_{д} = P - \frac{UI}{n} \sum_{k=1}^n \cos \left(\frac{4\pi}{n} k + 2\psi - \varphi \right).$$

Отсюда видно, что ошибка дискретизации $\Delta P_{д} = -\frac{UI}{n} \sum_{k=1}^n \cos \left(\frac{4\pi}{n} k + 2\psi - \varphi \right)$.

Применим известную формулу суммы [1, с. 43]

$$\sum_{k=0}^{n-1} \cos(x + yk) = \cos \left(x + \frac{n-1}{2} y \right) \frac{\sin \frac{ny}{2}}{\sin \frac{y}{2}}. \quad (2)$$

В рассматриваемой задаче $x = -\varphi + \psi$; $y = 4\pi/n$. Вследствие того, что $yn = 4\pi$, смещение диапазона k на единицу не изменяет значения суммы: $\sum_{k=0}^{n-1} \cos(x + yk) = \sum_{k=1}^n \cos(x + yk)$. Тогда

$$\Delta P_{д} = -\frac{UI}{n} \cos \left(2\pi \frac{n-1}{n} + 2\psi - \varphi \right) \frac{\sin 2\pi}{\sin \frac{2\pi}{n}}. \quad (3)$$

Анализ выражения (3) показывает, что при $n > 2$ величина $\Delta P_{д}$ тождественно равна нулю.

Если период напряжения сети не кратен $T_{ц}$, и в общем случае отношение $T/T_{ц}$ может быть представлено иррациональным числом, для идеального определения среднего значения число отсчетов на интервале усреднения теоретически должно стремиться к бесконечности.

Вследствие большого числа отсчетов фазовый угол первого отсчета не имеет значения. При n отсчетах

$$P_d = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} [U_m \sin(\omega T_{ц} k) \cdot I_m \sin(\omega T_{ц} k - \varphi)] = P - \frac{UI}{n} \sum_{k=1}^n \cos(2\omega T_{ц} k - \varphi).$$

Применяя (2), получаем:

$$\Delta P_d = -\frac{UI}{n} \cos[(n-1)\omega T_{ц} - \varphi] \frac{\sin n\omega T_{ц}}{\sin \omega T_{ц}}. \quad (4)$$

При выборе периода отсчетов и длительности интервала усреднения необходимо выполнить требования к точности измерения. Ошибку вычисления P целесообразно характеризовать приведенной погрешностью γ в соответствии с [2], причем в качестве нормирующего значения естественно выбрать максимальное значение активной мощности, соответствующее $\varphi = 0$. Тогда приведенная погрешность

$$\gamma = \frac{\Delta P_d}{UI} = -\frac{\cos[(n-1)\omega T_{ц} - \varphi] \sin n\omega T_{ц}}{n \sin \omega T_{ц}}. \quad (5)$$

Определим связь между параметрами n и $T_{ц}$, если величина γ задана.

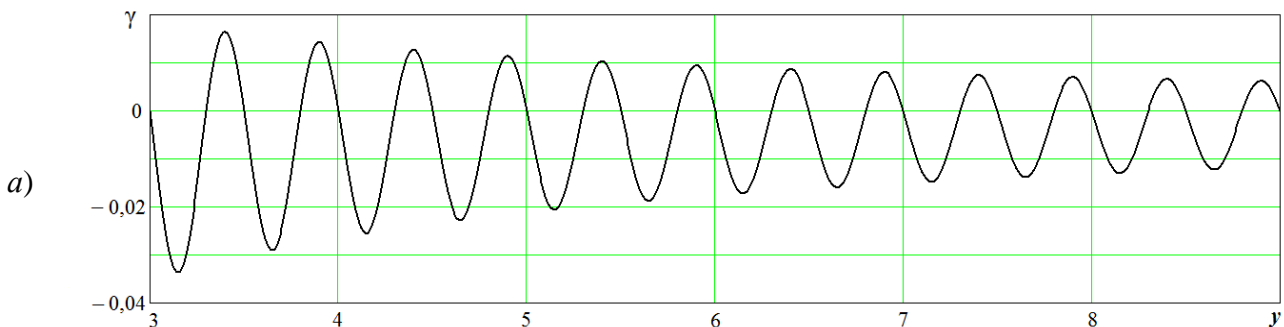
Для удобства анализа (5) введем две переменные:

- относительную величину периода отсчетов $x = T_{ц}/T$. Как было выяснено при анализе выражения (3), число отсчетов за период напряжения сети должно быть не менее трех. Величина $T_{ц}$ определяется характеристиками контроллера и не может быть установлена произвольно. Поэтому при выборе (или программировании) контроллера необходимо обеспечить соотношение $x \leq 1/3$;
- относительную длительность интервала усреднения $y = nT_{ц}/T$. Для уменьшения погрешности измерения в случае, если отношение $T/T_{ц}$ не является целым числом, интервал усреднения $nT_{ц}$ должен включать не менее трех периодов напряжения сети то есть, $y \geq 3$.

С учетом введенных переменных выражение (5) принимает вид:

$$\gamma = -\frac{\cos[2\pi(y-x) - \varphi] \sin 2\pi y}{\frac{y}{x} \sin 2\pi x} = -\frac{\sin(4\pi y - 2\pi x - \varphi) + \sin(2\pi x + \varphi)}{\frac{2y}{x} \sin 2\pi x}. \quad (6)$$

На рис. 1 приведены зависимости $\gamma(y)$ для различных значений x и φ . Видно, что зависимости имеют колебательный характер с огибающей, спадающей по гиперболическому закону.



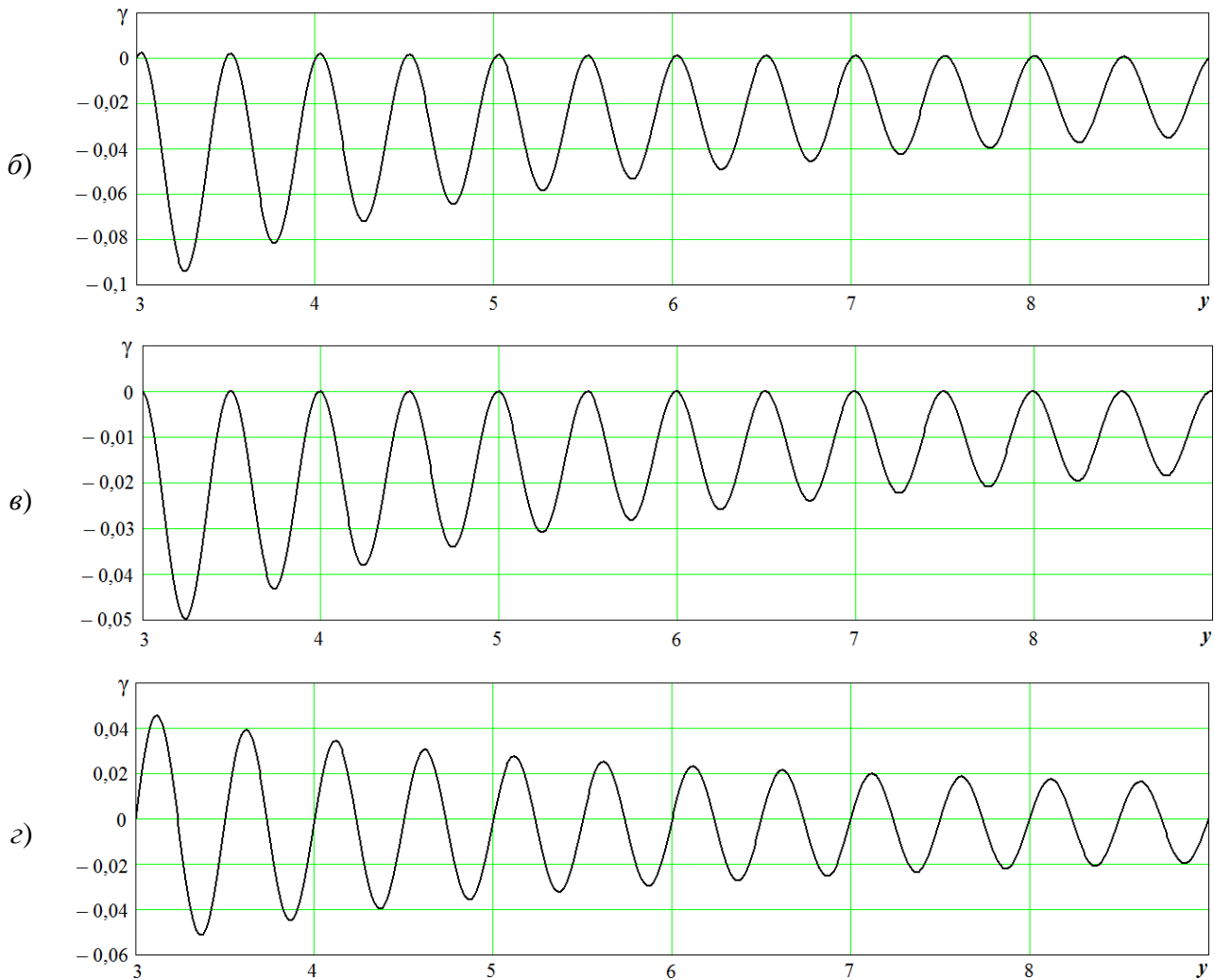


Рис. 1. Зависимость приведенной погрешности от относительной длительности интервала усреднения
 а) $x = 0,05, \cos\varphi = 1$; б) $x = 0,3, \cos\varphi = 1$; в) $x = 0,05, \cos\varphi = 0,4$; г) $x = 0,3, \cos\varphi = 0,4$

Вследствие того, что значение $4\pi y - 2\pi x - \varphi$ может меняться произвольно, за максимальную возможную приведенную погрешность γ_m следует принять модуль выражения (6) при $\sin(4\pi y - 2\pi x - \varphi) = \pm 1$. Таким образом, величина γ_m определяется следующим образом:

$$\gamma_m = \begin{cases} \frac{1 + \sin(2\pi x + \varphi)}{\frac{2y}{x} \sin 2\pi x} & \text{при } \varphi < \pi - 2\pi x; \\ \frac{1 - \sin(2\pi x + \varphi)}{\frac{2y}{x} \sin 2\pi x} & \text{при } \varphi > \pi - 2\pi x. \end{cases} \quad (7)$$

При достаточно малом x выражение для γ_m упрощается. Так, при $T_{ц} < 1,75$ мс с ошибкой не более 5% можно принять:

$$\gamma_m = \frac{1 \pm \sin(2\pi x + \varphi)}{4\pi y}. \quad (8)$$

Зависимость (7) может быть использована для расчета минимальной длительности интервала усреднения. Для упрощения определение y удобно выполнять с помощью номограмм. На рис. 2 представлены примеры номограмм, отличающихся величиной $\cos\varphi$.

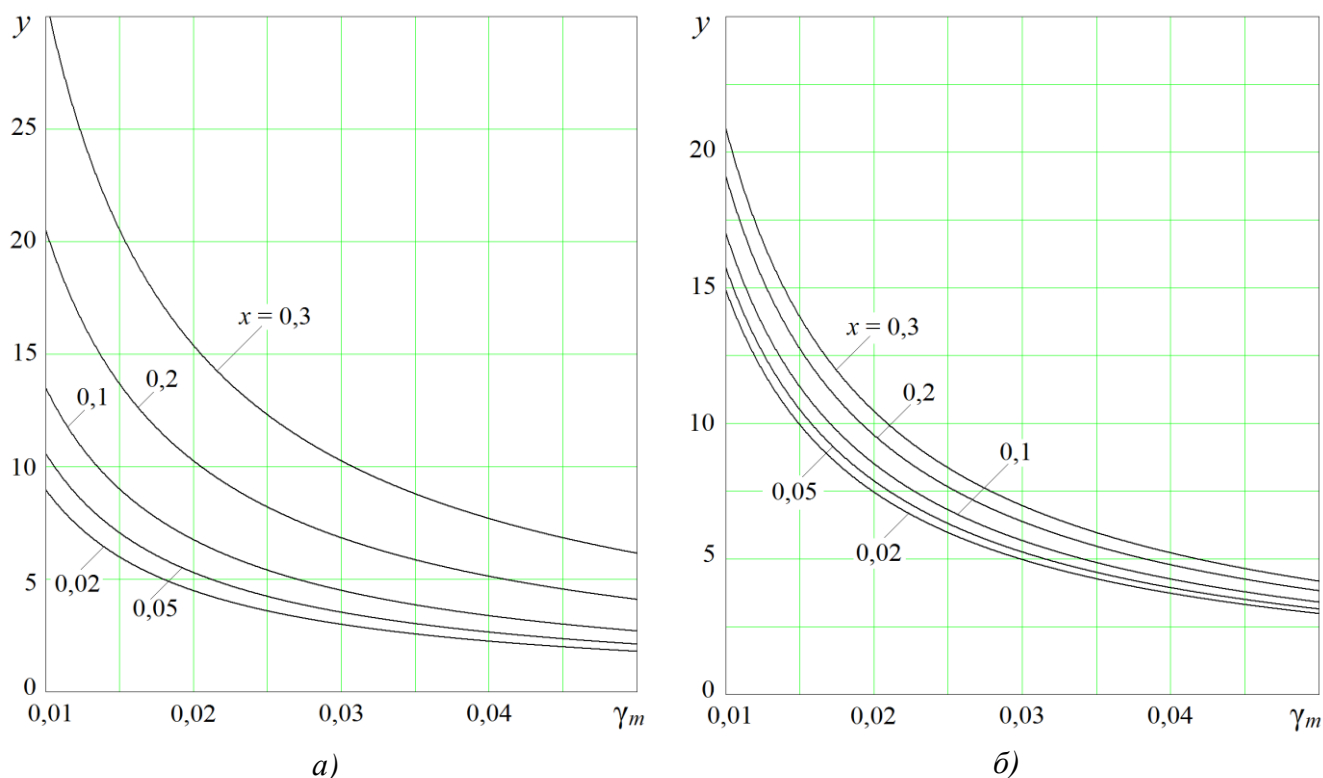


Рис. 2. Номограммы для определения относительной длительности интервала усреднения
 а) $\cos\varphi = 1$; б) $\cos\varphi = 0,6$

На основании полученных результатов может быть предложена инженерная методика выбора длительности интервала усреднения, обеспечивающей уровень погрешности не выше заданной. Процедура выбора состоит из следующих этапов:

1. Определение максимально допустимой приведенной погрешности измерения активной мощности γ_m .
2. Определение длительности цикла аналого-цифрового преобразования $T_{ц}$ из паспортных характеристик контроллера, или выбор длительности, если такую возможность предоставляет производитель контроллера.
3. Определение величины y , обеспечивающей погрешность $|\gamma| < \gamma_m$, для ряда значений $\cos\varphi$, и выбор максимальной из полученных величин.
4. Определение количества отсчетов на интервале усреднения $n = yT/T_{ц}$. Следует иметь в виду, что выбор n может быть результатом компромисса между точностью и быстродействием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм. рядов и произведений. 4-е изд. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. литературы, 1963. – С. 43.
2. РМГ 29-2013. Метрология. Основные термины и определения. – М., 2014. (Государственная система обеспечения единства измерений).

CALCULATION OF ACTIVE POWER IN THE PROGRAMMABLE CONTROLLER

Geller Boris Lvovich, candidate of engineering sciences, associate professor

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia, e-mail: rector@klgtu.ru

The aim of this work is to analyze the error in calculating active power due to sampling of readings during analog-to-digital conversion of voltage and current signals received directly from transformers. The value of the maximum possible reduced error is determined, an engineering technique is proposed for choosing the duration of the averaging interval, which ensures the error is not higher than the specified one.

УДК 621.316.17

ФОРМИРОВАНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ НЕЙТРАЛИ ПРИ НЕСИММЕТРИИ ФАЗНЫХ ЕМКОСТЕЙ

Кажекин Илья Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: kazhekin@mail.ru

Предложена методика оценки напряжения смещения нейтрали в электросетях с изолированной нейтралью по величине наибольшего отклонения фазных емкостей друг от друга. Предложенный подход позволил провести обоснование выражения для определения наибольшего напряжения несимметрии. Впервые получен критерий напряжения смещения нейтрали в виде функции одной величины, что значительно упрощает ее расчет. Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по рыболовству (контракт № 121071300023-6).

Одной из их особенностей судовых электросетей является их работа в режиме изолированной нейтрали. В таких электросетях, как правило, не контролируется величина фазной емкости, а тем более отклонения фазных емкостей друг от друга. В ряде нормативных, например [1], несимметрия емкостей оцениваются по величине, определяемой следующим образом:

$$U_N = n_{нс} U_\phi = \left| \frac{C_A + a^2 C_B + a C_C}{C_A + C_B + C_C} \right| U_\phi \quad (1)$$

где C_A , C_B , C_C - емкости фаз А, В и С соответственно; $n_{нс}$ – степень несимметрии; U_ϕ – фазное напряжение; a - комплексный оператор.

Для судовых электроэнергетических систем низкого напряжения этот показатель может превышать 50% [2], в то время как в береговых кабельных сетях средних классов напряжений всего 5% [3]. На рисунке 1, показаны значения степени несимметрии, измеренные в различных электросетях.



Рис. 1. Результаты измерения степени несимметрии фазных емкостей

Между тем напряжение смещения нейтрали оказывает существенное влияние на формирование опасных процессов при возникновении однофазных замыканий как в сети с изолированной нейтралью [4], так и в сети с иными способами ее заземления нейтралью [5]. Целью работы является обоснование показателя, удобного для оценки наибольшей величины смещения нейтрали.

Методика определения наихудших условий несимметрии

Использование выражения (1) для оценки наихудших условий несимметрии часто затруднительно, поскольку требует анализа функции трех переменных. Для решения этой проблемы необходимо сократить число переменных. Это может быть достигнуто путем деления в выражении (1) числителя и знаменателя на величину емкости любой из фаз, например, фазы А. В этом случае выражение приобретет следующий вид:

$$U_N = \left| \frac{1 + a^2 k_B + a k_C}{1 + k_B + k_C} \right| \quad (2)$$

где k_B, k_C - соответственно отношение емкостей фаз В и С к емкости фазы А.

$$k_B = \frac{C_B}{C_A} \quad (3)$$

$$k_C = \frac{C_C}{C_A} \quad (4)$$

Как видно из (2) величина фазных емкостей не оказывает влияния на U_N^* , которая зависит только от отношений k_B и k_C . На рисунке 2а) построена поверхность изменения U_N^* , в зависимости от значений k_B и k_C , а на рисунке 2б) - карта уровней напряжения смещения нейтрали. Из этих рисунков видно, что U_N^* принимает наименьшее значение в некоторой точке с координатами $k_B = 1$ и $k_C = 1$ и возрастает при удалении от нее с различной скоростью в зависимости от направления.

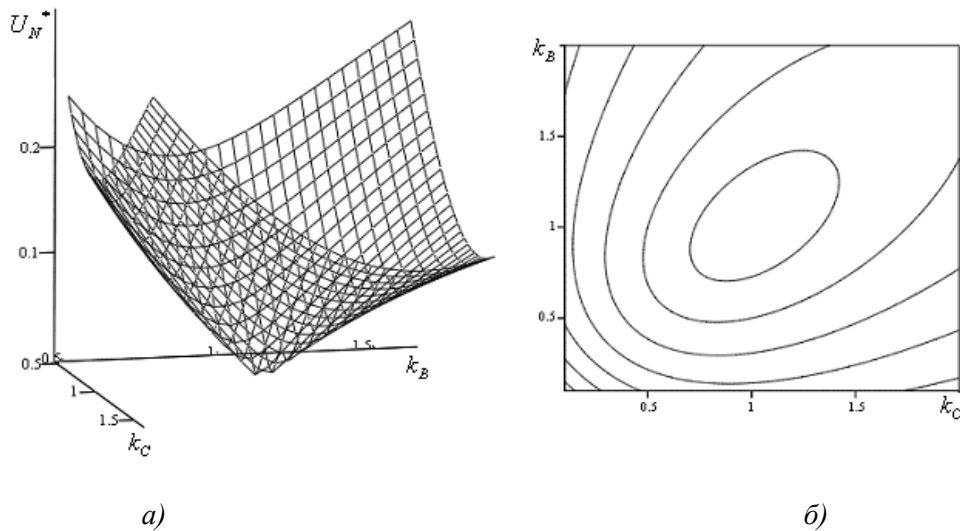


Рис.2. Зависимость напряжения смещения нейтрали от соотношений фазных емкостей

Наибольшие значения напряжения смещения нейтрали

Для того, чтобы найти наибольшие значения напряжения смещения нейтрали представим выражение (2) как функцию от двух переменных $U_N^*(k_B, k_C)$. Согласно [6], наибольшие значения $U_N^*(k_B, k_C)$ находятся либо в стационарных точках «подозрительных» по экстремуму, либо на границе области возможных значений. При этом под стационарными точками «подозрительными» по экстремуму понимаются точки, координаты которых определяются из следующей системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d U_N^*}{d k_B} = 0; \\ \frac{d U_N^*}{d k_C} = 0. \end{cases} \quad (5)$$

В области действительных значений k_B, k_C система (5) имеет единственное решение при $k_B = 1, k_C = 1$. Как указывалось выше, в этой точке функция принимает наименьшее значение равное нулю, следовательно, наибольшие значения U_N^* находятся на границах области $U_N^*(k_B, k_C)$.

Границы области определяются из условия максимального отклонения фазных емкостей друг от друга и могут быть заданы следующей системой неравенств

$$\begin{cases} \frac{1}{k_{max}} \leq \frac{C_B}{C_A} \leq k_{max} \\ \frac{1}{k_{max}} \leq \frac{C_C}{C_A} \leq k_{max} \\ \frac{1}{k_{max}} \leq \frac{C_B}{C_C} \leq k_{max} \end{cases} \quad (6)$$

где k_{max} - максимальное соотношение фазных емкостей.

Первые два неравенства системы (6) ограничивают величины k_B и k_C между значениями $\frac{1}{k_{max}}$ и k_{max} , третье неравенство системы (6) ограничивает величину k_B между значениями, соответствующим уравнениям:

$$k_B = \frac{k_C}{k_{max}} \quad (7)$$

$$k_B = k_C k_{max} \quad (8)$$

На плоскости k_B-k_C границы значений, удовлетворяющих неравенствам (6), имеют вид шестиугольника с вершинами 1-6, изображенного на рисунке 3.

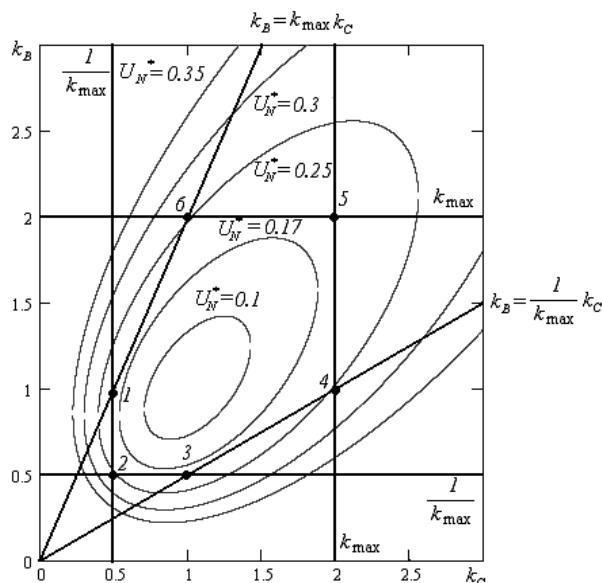


Рис. 3. Зависимость напряжения смещения нейтрали от соотношения емкостей

Размеры шестиугольника зависят только от величины k_{max} , координаты его вершин приведены в таблице 1.

Таблица 1

Координаты вершин шестиугольника

Номер вершины	Значение координаты k_B	Значение координаты k_C
1	1	$\frac{1}{k_{max}}$
2	$\frac{1}{k_{max}}$	$\frac{1}{k_{max}}$
3	$\frac{1}{k_{max}}$	1
4	1	k_{max}
5	k_{max}	k_{max}
6	k_{max}	1

Изменение величины напряжения смещения нейтрали вдоль каждой стороны шестиугольника можно представить в виде зависимости $U_N^*(x)$, проведя соответствующие замены переменных k_B, k_C на величины указанные в таблице 1 во втором и третьем столбцах. Определив по условию (9), точки экстремума функции $U_N^*(x)$. на каждой из сторон шестиугольника, можно оценить их расположение относительно прилегающих вершин.

$$\frac{d U_N^*(x)}{dx} = 0 \tag{9}$$

Результаты такого исследования сведены в таблицу 2

Экстремумы функции $U_N^*(x)$ на границе области возможных значений

Номера вершин	k_B	k_C	Значение точки экстремума	Знак второй производной в точке экстремума
1-2	$x, x \in \left[\frac{1}{k_{max}}; 1 \right]$	$\frac{1}{k_{max}}$	$x_0 = \frac{k_{max}^2 + 1}{k_{max}(k_{max} + 1)}$, $\frac{1}{k_{max}} \leq x_0 \leq 1$	$\frac{d^2 U_N^*(x)}{dx^2} > 0$
2-3	$\frac{1}{k_{max}}$	$x, x \in \left[\frac{1}{k_{max}}; 1 \right]$	$x_0 = \frac{k_{max}^2 + 1}{k_{max}(k_{max} + 1)}$, $\frac{1}{k_{max}} \leq x_0 \leq 1$	$\frac{d^2 U_N^*(x)}{dx^2} > 0$
3-4	$\frac{x}{k_{max}}$	$x, x \in [1; k_{max}]$	$x_0 = \frac{k_{max}(k_{max} + 1)}{k_{max}^2 + 1}$, $1 \leq x_0 \leq k_{max}$	$\frac{d^2 U_N^*(x)}{dx^2} > 0$
4-5	$x, x \in [1; k_{max}]$	k_{max}	$x_0 = \frac{k_{max}^2 + 1}{k_{max} + 1}$, $1 \leq x_0 \leq k_{max}$	$\frac{d^2 U_N^*(x)}{dx^2} > 0$
5-6	k_{max}	$x, x \in [1; k_{max}]$	$x_0 = \frac{k_{max}^2 + 1}{k_{max} + 1}$, $1 \leq x_0 \leq k_{max}$	$\frac{d^2 U_N^*(x)}{dx^2} > 0$
6-1	$k_{max}x$	$x, x \in \left[\frac{1}{k_{max}}; 1 \right]$	$x_0 = \frac{k_{max} + 1}{k_{max}^2 + 1}$, $\frac{1}{k_{max}} \leq x_0 \leq 1$	$\frac{d^2 U_N^*(x)}{dx^2} > 0$

Из таблицы 2 видно, что на каждой стороне точки экстремума находятся между вершинами. Вторая производная в этих точках всегда положительна, следовательно, они соответствуют минимальным значениям U_N^* на сторонах шестиугольника. Таким образом, наибольшие значения U_N^* находятся в вершинах.

Зависимость наибольшего напряжения смещения нейтрали от соотношения фазных емкостей

Подставив координаты вершин, приведенные в таблице 2 в выражение (2), и проведя соответствующие преобразования, можно получить зависимости U_N^* от величины максимального соотношения фазных емкостей k_{max} . При этом зависимости для вершин 1, 3, 5 и 2, 4, 6 совпадают и выглядят следующим образом. Для вершин 1, 3, 5:

$$U_N^* = \frac{k_{max} - 1}{2k_{max} + 1} \quad (10)$$

Для вершин 2, 4, 6:

$$U_N^* = \frac{k_{max} - 1}{2 + k_{max}} \quad (11)$$

Из (10)-(11) видно, что при любых значениях $k_{max} > 1$ величина U_N^* в вершинах 2, 4, 6 будет больше, чем в вершинах 1, 3, 5. Таким образом, при помощи выражения (11), по известному значению k_{max} , можно оценить наибольший коэффициент несимметрии, а, следовательно, и напряжение смещения нейтрали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.20.179 Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6-35 кВ.

2. Ксенофонов А.П. Защитные устройства в судовых и береговых электроустановках рыбной промышленности / А.П. Ксенофонов, Ю.А. Шестопапов, В.Я. Островский // «Легкая и пищевая промышленность». – 1984. – 254 с.

3. Лихачев, Ф.А. Защита от внутренних перенапряжений установок 3-220 кВ / Ф.А. Лихачев. – М.: Энергия, 1968. – 105 с.

4. Кажекин, И.Е. Формирование максимальных перенапряжений при возникновении феррорезонансных процессов во время дуговых однофазных замыканий в низковольтных судовых электросистемах / И.Е. Кажекин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2020. – № 1. – С. 115-124.

5. Исследование переходных процессов при однофазных повреждениях изоляции в низковольтных судовых электросетях с учетом сопротивления в месте замыкания / И.Е. Кажекин // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-2 (50). – С. 49-54.

6. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3-х т. / Г.М. Фихтенгольц. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – Т.1 – 616 с.

FORMATION OF THE MAXIMUM VOLTAGE OF THE DISPLACEMENT OF THE NEUTRAL AT THE NON-SYMMETRY OF THE PHASE CAPACITORS

Kazhekin Ilya Evgenievich, Cand. tech. Sci., Associate Professor of the Department of Electrical Equipment for Ships and Electric Power Industry

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: kazhekin@mail.ru

A method is proposed for assessing the bias voltage of the neutral in power grids with an isolated neutral by the value of the greatest deviation of the phase capacitances from each other. The proposed approach made it possible to substantiate the expression for determining the highest unbalance voltage. For the first time, a criterion for the bias voltage of the neutral was obtained in the form of a function of one quantity, which greatly simplifies its calculation. This research was funded by the Federal Agency for Fishery (contract No. 121071300023-6).

УДК 621.315.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ЕЕ УВЛАЖНЕНИИ

¹Кажекин Илья Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

²Филиппов Евгений Анатольевич, старший механик

³Кугучева Дарья Константиновна, аспирант кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹kazhekin@mail.ru

²Danaos Shipping Co. ltd, Лимассол, Кипр, e-mail: ²flirt2302@gmail.com

В работе представлены результаты экспериментальных исследований процесса старения изоляции. Образцы изоляции подвергались периодическим увлажнениям под напряжением. При этом впервые регистрировались величины сопротивления, емкости и тангенса угла диэлектрических потерь между

каждым из увлажнений. Кроме того, регистрировались осциллограммы тока и напряжения в предпробойном состоянии изоляции. Проведенные исследования позволили установить ряд закономерностей, характерных для подобного вида развития пробоя изоляции.

Однофазные замыкания на землю являются одним из самых распространенных видов повреждений судового электрооборудования. Более 75 % всех повреждений в судовых электросетях приходится на однофазные замыкания на землю [1]. Величина токов однофазных замыканий в основном зависит от ёмкости фаз относительно земли принятого режима нейтрали. В судовых низковольтных сетях наибольшее распространение получила схема с изолированной нейтралью. Для таких сетей токи в месте контакта поврежденной фазы и корпуса не превышают нескольких ампер. Благодаря этому отсутствуют жесткие требования по немедленному отключению поврежденной линии. Кроме того, обеспечить селективную защиту при столь малых значениях тока утечки практически нельзя. При таких условиях длительность режима однофазного замыкания может исчисляться часами, а то и сутками. В течении этого времени через место замыкания протекает ток, что может привести к повреждению оборудования, электротравмами и другими опасными последствиями.

Защита от однофазных замыканий в низковольтных судовых сетях с изолированной нейтралью основывается на постоянном контроле активной составляющей сопротивления токам утечки – как наиболее легко поддающуюся измерениям и контролю [2]. Этот параметр технического состояния изоляции единственный, для которого Регистром определены нормативные значения. Принцип действия приборов, работающих в судовых сетях переменного тока, находящихся под напряжением, основывается на наложении постоянного измерительного напряжения. Одним из существенных недостатков такого метода является, что на сопротивление не влияет наличие таких дефектов как термическое старение, поверхностное увлажнение и воздушные включения. В связи с чем весьма важным вопросом становится поиске других диагностических характеристик и методов для выявления дефектов электрической изоляции. В ряде работ, например [3, 4], приведено описание переходных процессов, протекающих при глухих замыканиях фазы на корпус судна или землю в береговых электросетях. Это может быть использовано при поиске неисправностей изоляции электрооборудования. Однако для решения задач технического диагностирования электротехнических систем все большую актуальность приобретают вопросы раннего обнаружения повреждений. Для достижения этих целей наибольшее распространение получили следующие диагностические параметры: измерение характеристик частичных разрядов; измерение тангенса диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$; измерения коэффициента абсорбции.

Таким образом, можно сделать вывод, что среди известных методов, которые используются для дополнительной оценки состояния изоляции, основная часть не может быть применена в низковольтных судовых электросетях без снятия рабочего напряжения. За исключением измерения тангенса диэлектрических потерь, позволяющего идентифицировать некоторые виды пробоя изоляции, на начальной стадии формирования.

Методика исследования механизма пробоя изоляции при поверхностном увлажнении

Для исследования процессов, протекающих при формировании дефекта изоляции, была использована электроустановка, схема которой представлена на рисунок 1.

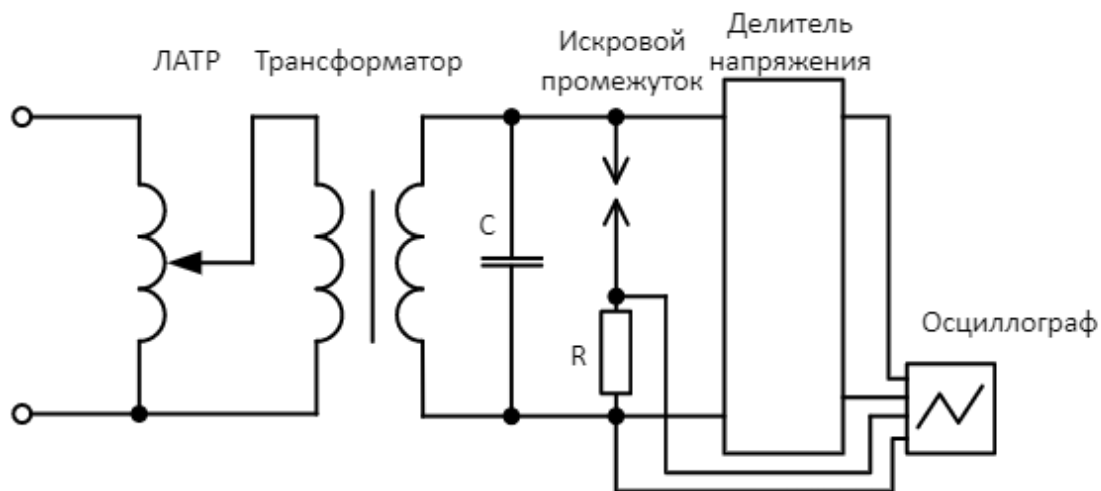


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Лабораторная установка состояла из каскадно-соединенных трансформатора и автотрансформатора, моделирующего фазную емкость сети конденсатора, искрового промежутка и измерительной системы, включающей в себя измерительный шунт сопротивлением R, делитель напряжения и осциллограф с возможностью сохранения и импорта осциллограмм. Искровой промежуток выполнен в виде двух стальных электродов, расположенных на поверхности текстолита. Периодически поверхность увлажнялась, в результате чего между электродами возникал ток, который протекал до момента высыхания. Перед каждым увлажнением измерялись параметры образца диэлектрика: сопротивление, емкость и тангенс диэлектрических потерь.

Результаты исследования процессов старения изоляции

На рисунках 2-4 приведены зависимости параметров изоляции, которые регистрировались между циклами увлажнения. Поскольку для некоторых из приведенных зависимостей характерны резкие броски в изменениях исследуемых величин, такие зависимости представлены отдельными графиками. Ниже на рисунке 2 построены зависимости изменения сопротивления при старении изоляции.

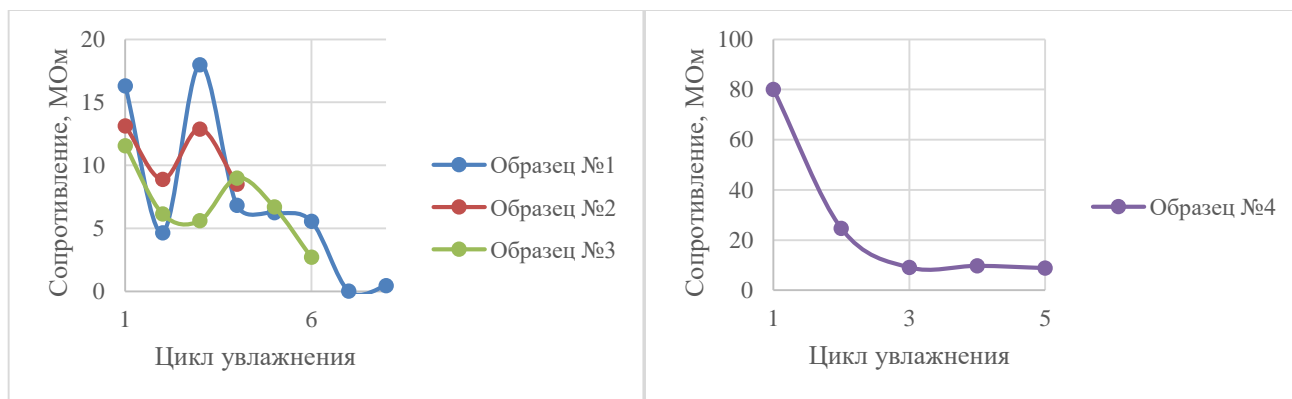


Рис. 2. Изменение сопротивления изоляции в процессе ее старения

Как видно из рисунка 2 старение изоляции сопровождается снижением ее сопротивления. При этом для большинства образцов это снижение сопровождается колебаниями различного периода. Результаты регистрации емкости сети приведены на рисунке 3.

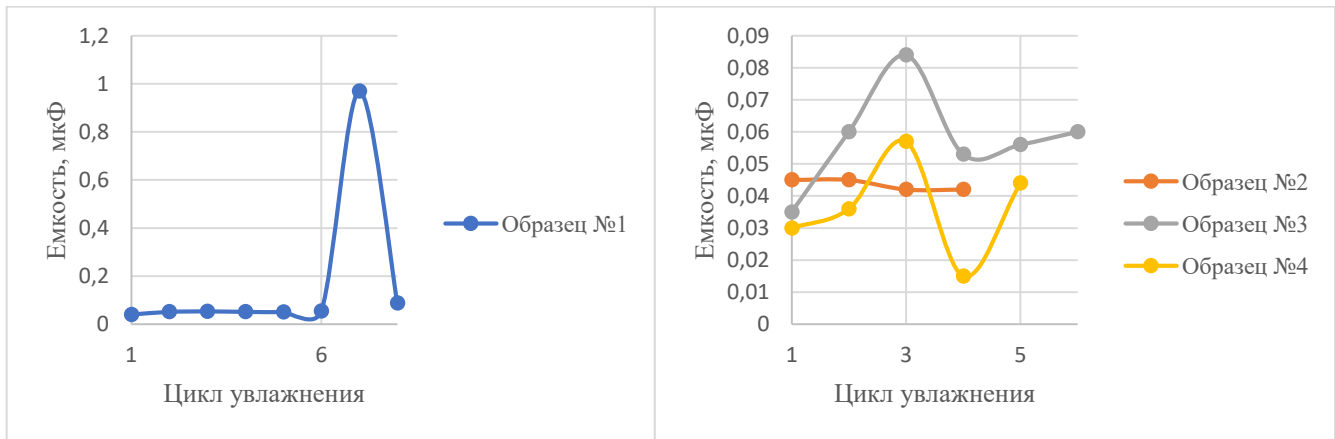


Рис. 3. Изменение емкости изоляции в процессе ее старения

Как видно из рисунка 3, в изменении емкости отсутствует какая-либо четкая закономерность. Для некоторых образцов характерны колебания емкости в процессе старения. Для образца №1 имел место всплеск в последние перед пробоем циклы увлажнения. Однако старение образца №2 не сопровождалось заметными изменениями емкости.

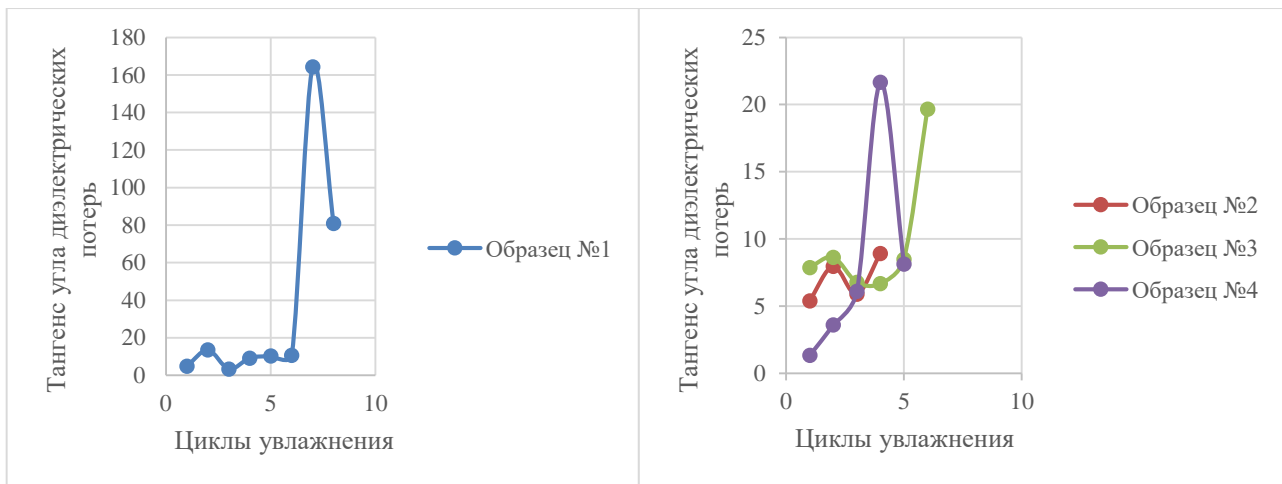


Рис. 4. Изменение тангенса угла диэлектрических потерь в процессе старения изоляции

В изменениях тангенса диэлектрических потерь можно отметить характерное его увеличение перед пробоем в сравнении с начальной величиной.

Зарегистрированные токи и напряжения в процессе старения изоляции по форме синусоидальны до последних циклов увлажнения. В последних циклах их осциллограммы имели два характерных вида. Первый характерный вид осциллограмм представлен на рисунках 5 и 6.

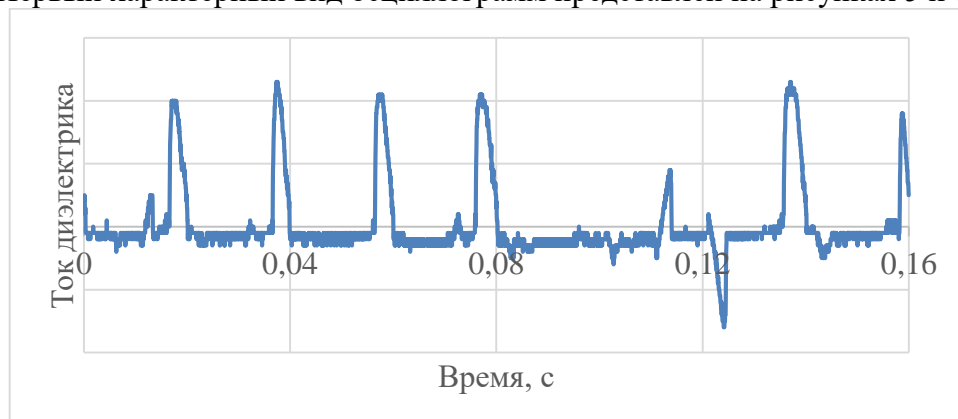


Рис. 5. Осциллограмма тока перед пробоем изоляции

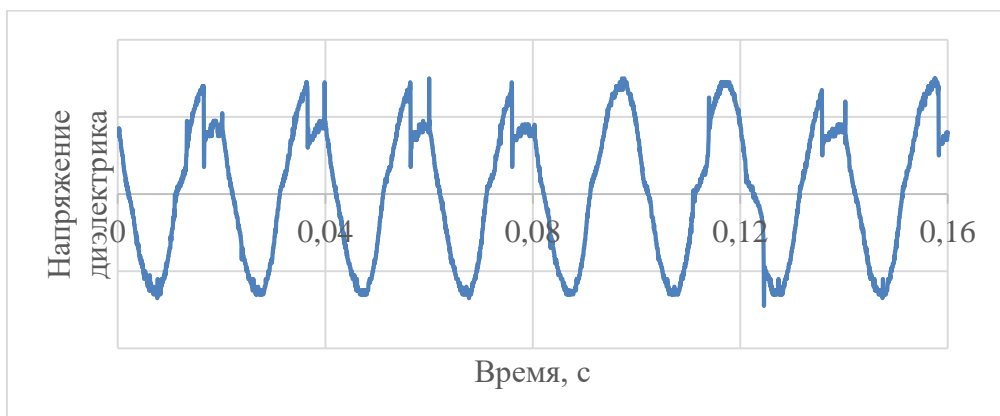


Рис. 6. Осциллограмма напряжения перед пробоем изоляции

На представленных на рисунках 5 и 6 осциллограммах видно, что разряд по поверхности диэлектрика имеет униполярную форму. Такая форма разряда характерна для резко неоднородных электрических полей. Пробивные характеристики подобных разрядов не соответствуют закону Пашена. Пробой диэлектрика по поверхности происходит при гораздо меньших напряжениях разряда, чем устанавливает кривая Пашена для воздушного промежутка. Второй вид осциллограмм представлен на рисунке 7 и 8.

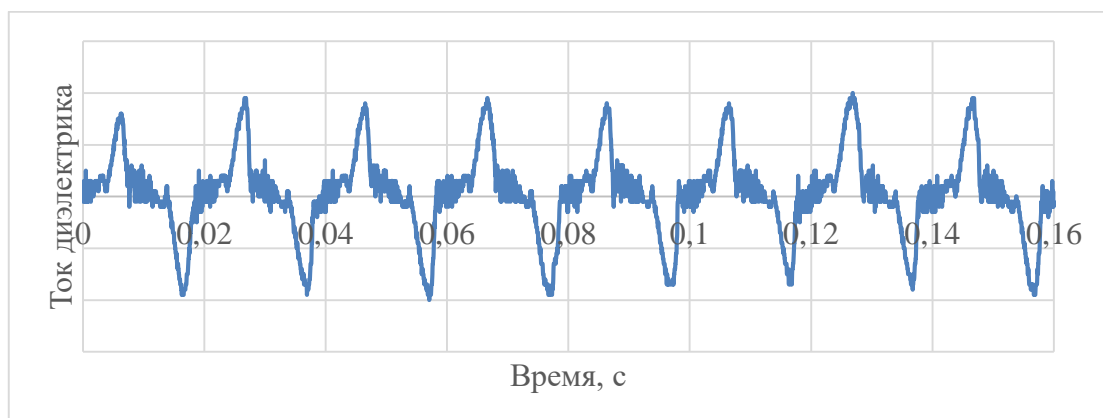


Рис. 7. Осциллограмма тока перед пробоем изоляции

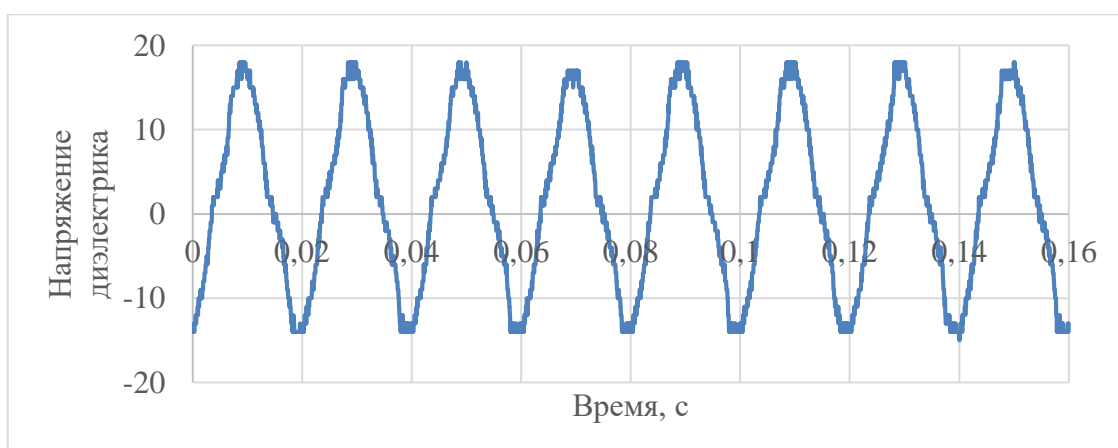


Рис. 8. Осциллограмма напряжения перед пробоем изоляции

Осциллограммы вида, представленного на рисунках 7 и 8, характерны для дугового замыкания и вольт-амперная характеристика нелинейного элемента подобна дуговой (рис.9).

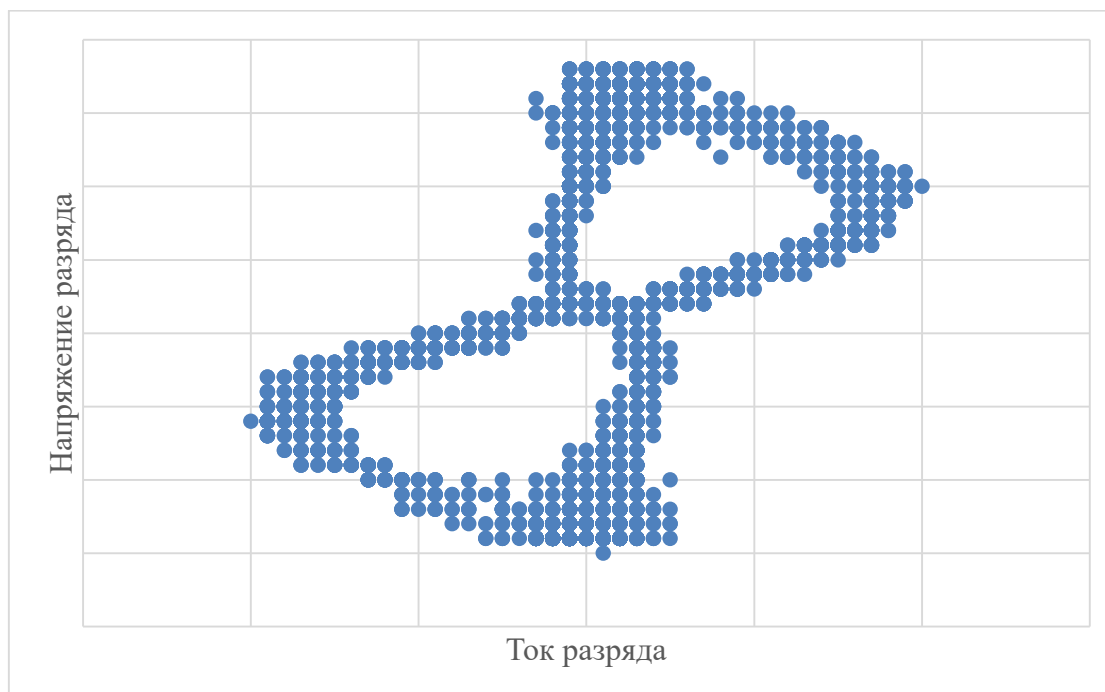


Рис. 9. Вольт-амперная характеристика разряда

При этом следует отметить, что все зарегистрированные осциллограммы получены в электроустановке напряжением 220 В, а действующее значение тока даже в режиме замыкания не превышало 1 А.

Выводы

1. Старение изоляции в результате ее увлажнения сопровождается снижением сопротивления и повышением тангенса угла диэлектрических потерь. При этом изменение этих величин не всегда происходит монотонно, а часто сопровождается колебаниями и всплесками.
2. Значительных изменений емкости в ходе экспериментов отмечено не было. Эта величина оказалась наименее информативной в качестве диагностического параметра изоляции.
3. Предпробивные процессы чаще всего сопровождаются возникновением разрядов, которые могут иметь униполярную форму. Осциллограммы тока и напряжения, зарегистрированные в ходе экспериментов, свидетельствуют о том, что на этой стадии вольтамперная характеристика дефекта изоляции подобна характеристике дуги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Граве В.И., Электропожаробезопасность высоковольтных судовых электроэнергетических систем / В. И. Граве, В. В. Романовский, В. М. Ушаков. – СПб.: Элмор, 2003. – 159 с.
2. Иванов Е.А., Методы контроля изоляции судовых электроэнергетических систем / Е.А. Иванов, С.Е. Кузнецов. – СПб.: Элмор, 1999. – 80 с.
3. Кажекин И.Е., Исследование переходных процессов при однофазных повреждениях изоляции в низковольтных судовых электросетях с учетом сопротивления в месте замыкания / И.Е. Кажекин // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – Т. 50. – № 4-2. – С. 49-54.
4. Качесов В.Е., Метод определения зоны однофазного замыкания в распределительных сетях под рабочим напряжением / В.Е. Качесов // Электричество. – 2005. – № 6. – С. 9-18.

RESEARCH OF THE PROCESSES OF INSULATION DESTRUCTION AT ITS HUMIDIFICATION

¹Kazhekin Ilya Evgenievich, Cand. tech. Sci., Associate Professor of the Department of Electrical Equipment for Ships and Electric Power Industry

²Filippov Evgeny Anatolyevich, Chief engineer

³Kugucheva Daria Konstantinovna, Postgraduate Student, Department of Electrical Equipment for Ships and Electric Power Engineering

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, e-mail: kazhekin@mail.ru

²Danaos Shipping Co. Ltd, Limassol, Cyprus, e-mail: flirt2302@gmail.com

The paper presents the results of experimental studies of the aging process of insulation. Insulation samples were subjected to periodic wetting under voltage. At the same time, the values of resistance, capacitance and dielectric loss tangent between each of the humidifications were recorded for the first time. In addition, oscillograms of the current and voltage in the pre-breakdown state of the insulation were recorded. The studies carried out made it possible to establish a number of regularities characteristic of this type of development of insulation breakdown.

УДК 621.31

КОНТРОЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Коптяев Евгений Николаевич, аспирант

ФГАОУ ВО «Северный Арктический Федеральный университет им. М.В. Ломоносова», Архангельск, Россия, e-mail: e.koptyaev@narfu.ru

Системы контроля изоляции являются неотъемлемой составляющей судовых автономных электроэнергетических систем постоянного и переменного тока, обеспечивая их непрерывную безопасную эксплуатацию, измерение и контроль сопротивления изоляции в реальном времени. Во многих случаях не допускается прием питания на силовые электрические сети и их эксплуатация в случае отсутствия или неготовности систем контроля изоляции. В настоящее время появились системы, которые обеспечивают контроль не только общего сопротивления изоляции всей электрической сети в целом, но и отдельных потребителей (нагрузки) – без их отключения от сети. Наличие такого пофидерного контроля гальванически связанной с электрической сетью нагрузки повышает оперативность поиска места повреждения, что упрощает работу персонала и снижает время, необходимое для обнаружения неисправного оборудования. Это также способствует и снижению вероятности аварий и пожаров, вызванных искрением или подгоранием повреждения. В данной работе представлена новая, инновационная конструкция датчика тока утечки (преобразователя тока) для измерения токов утечки на фидерах подключаемой нагрузки, что позволяет определять сопротивление изоляции для каждого потребителя без его отключения от общей сети.

Введение

Как известно, все судовые электроэнергетические системы (ЭЭС) переменного тока имеют изолированную от корпуса нейтраль обмотки, и типовые уровни сопротивления изоляции исправной сети могут достигать 1,0 МОм при работе по прямому назначению. При эксплуатации судового электрооборудования периодически возникают аварийные и предаварийные ситуации, связанные

со снижением сопротивления изоляции потребителей или кабельных линий, их питающих. Это считается опасным как для потребителей электроэнергии (нагрузки), так и для самой ЭЭС. Тоже касается и силовых сетей постоянного рода тока, в которых оба полюса (шины) всегда изолированы от корпуса судна.

При снижении сопротивления изоляции ниже установленных норм может произойти как выход из строя поврежденного оборудования, так и нагрев – ведущий к созданию пожароопасной ситуации на судне. Иногда нулевое значение сопротивления изоляции может свидетельствовать об падении металлических предметов на шины главного распределительного щита (ГРЩ), грозящим глухим коротким замыканием – с подобным случаем сталкивался автор данной работы в реальной ситуации при несении дежурно-вахтенной службы в море. Применяемые для контроля сетей системы имеют различные уставки по предупредительной и аварийной сигнализации, в зависимости от требований к ЭЭС и ее уровня номинального напряжения. Для сетей 380В/50Гц можно считать типичным уровнем сопротивления >100 кОм, при понижении ниже этой уставки оперативный персонал вынужден проводить работы по поиску неисправного участка ЭЭС и ее потребителя.

В общем случае – если отсутствуют датчики тока утечки фидеров, питающих потребителей и отсутствует информация о проблемном оборудовании, оперативный персонал производит ряд последовательных действий для локализации повреждения: переводит нагрузку ГРЩ между парой источников электроэнергии (как основных, так и берегового питания – при наличии), далее происходит поиск фидера с неисправным оборудованием – путем поочередного отключения питания на вторичные распределительные щиты и мощную нагрузку. На этом этапе оборудование может потерять питание как частично, так и полностью – и отключиться, что ведет к остановке и неприемлемо в ряде случаев по соображениям безотказности. Далее, поочередно отключают со вторичных распределительных щитов питание потребителей.

Инновационный датчик тока утечки для судовых систем контроля изоляции

Выпускаемые в настоящее время датчики тока утечки применяются в судовых ЭЭС и обеспечивают бесконтактное измерение тока утечки от источника измерительного напряжения системы контроля изоляции, являющегося пропорциональным сопротивлению изоляции нагрузки [1-3]. К таким системам относится, например, система СПК (для сетей переменного тока) и СПОК (для сетей постоянного тока) производства ООО «НИИ Энерготехнологий», а также их дальний аналог система контроля изоляции СКИФ [4-6]. На рис.1 показан внешний вид датчиков тока утечки, из состава системы СКИФ, выпускаемой как для сетей переменного, так и постоянного токов.



Рис. 1. Внешний вид датчиков тока утечки системы СКИФ

В основе работы всех датчиков тока утечки, обеспечивающих измерение сопротивления изоляции гальванически связанной нагрузки или участков ЭЭС, основана на равенстве нулю суммы токов в симметричных сетях переменного и постоянного тока, т.е. $I_A + I_B + I_C = 0$ для трехфазной нагрузки. Таким образом, рабочие токи, протекающие в шинах, не оказывают никакого воздействия

на магнитопровод измерительного датчика, выполняемого, как правило, в виде феррозонда. Намагничивание материала магнитопровода и выделение 2 гармоника магнитного потока частной петли гистерезиса происходит при возникновении тока утечки через сопротивление изоляции в нагрузке, однако, в большинстве случаев такой ток довольно мал.

По известным соображениям, при проектировании систем контроля изоляции в источнике измерительного постоянного напряжения, прикладываемого к шинам сети, выбирают напряжение зачастую более низкое, чем рабочее напряжение контролируемой сети [2, 7]. Предельный ток от источника измерительного напряжения также ограничивается, по соображениям безопасности для работы персонала, и не превышает 0,1А. Все это приводит к ряду особенностей работы датчиков тока утечки: нелинейной зависимости “ток утечки – сопротивление изоляции” (ограничение тока от блока питания) и высоким требованиям к его чувствительности в целом. Поэтому применяют ферромагнитные материалы с высокой относительной магнитной проницаемостью, в том числе из списка в табл.1, а также так называемый “мю-металл” с проницаемостью 80000 и выше.

Таблица 1

Относительная магнитная проницаемость современных ферромагнитных материалов

№ п/п	Наименование материала	Относительная проницаемость	Индукция насыщения	Предельная частота
1	H5C3	15000	360 мТ	<100 kHz
2	3E7	15000	390 мТ	<60 kHz
3	TL15	15000	360 мТ	<100 kHz
4	3E8	18000	380 мТ	<50 kHz
5	3E9	20000	380 мТ	<50 kHz
6	T56	20000	400 мТ	<100 kHz

Опыт применения выпускаемых датчиков тока утечки показывает, что в ряде случаев сама нагрузка в трехфазной силовой сети является несимметричной, и может иметь разброс как токов фаз или содержать высшие гармоники, что может нарушать работу датчиков и приводить к ложным показаниям. Это особенно актуально для мощного электропривода систем электродвижения судов с преобразователем частоты на базе трансформатора с вращающимся полем, как показало участие автора статьи в межведомственных испытаниях подобной системы.

Для решения этой задачи – а именно, снижения влияния несимметрии токов в трехфазной силовой сети на режимы работы датчиков тока утечки, и выделения чистой 2 гармоника автором предложена оригинальная конструкция, новизна которой подтверждается рядом патентов [8-10].

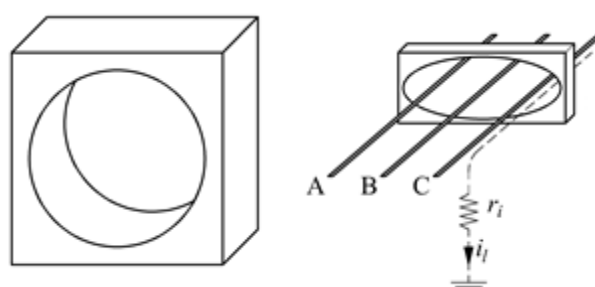


Рис. 2. Внешний вид датчика тока утечки и расположение на шинах трехфазной сети

Упрощенно, конструкция датчика тока утечки показана на рис.2 в самом общем виде, где видно, что три фазы измеряемой силовой сети пропущены через окно датчика, и не участвуют в намагничивании его магнитопровода. Ток утечки при этом может протекать на корпус судна через одну или все три фазы, что не влияет на процесс измерений [1].

На рис.3 показана 3Д модель предлагаемого датчика тока утечки, выполненная в ANSYS с использованием программного моделирования электромагнитных полей. Использование двух магнитопроводов, совмещенных в единой конструкции обусловлено необходимостью работы на обеих сторонах петли гистерезиса, что невозможно при использовании одного магнитопровода. Это и есть

ключевой момент для создания эффективного датчика тока утечки, в выходном сигнале которого содержится 2 гармоника, пропорциональная измеряемому току [8].

Использование только одного магнитопровода ведет к крайне низкой эффективности всей конструкции в целом, поскольку ЭДС встречно включенных катушек на выходе будет взаимно компенсироваться как для основной гармоники сигнала, так и для второй. Только разнесение двух обмоток по разным магнитопроводам дает пригодное для практического применения содержание 2 гармоник в выходном сигнале датчика тока утечки. Именно таким путем пошли создатели систем контроля изоляции СПК, СПОК и СКИФ [1].

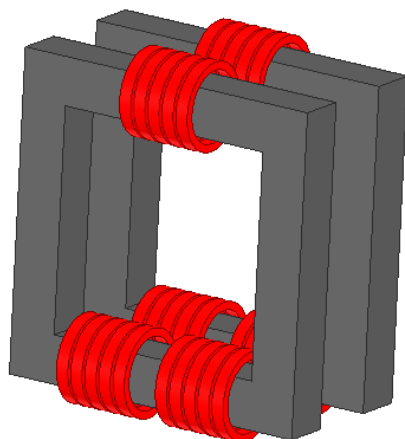


Рис. 3. Внешний вид 3Д модели предлагаемого датчика тока утечки в ANSYS

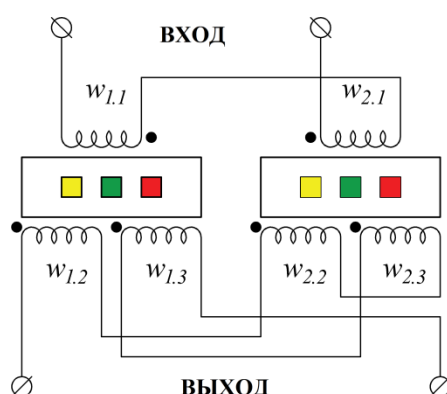


Рис. 4. Общие настройки страницы

На рис.4 показана принципиальная схема обмоток и расположения магнитопроводов на шинах трехфазной сети для предлагаемого датчика тока утечки [8]. Из нее видно, что при помощи разбиения вторичной (выходной) обмотки на две половины, происходит компенсация как частоты питающей сети (50Гц) так и первой гармоники тестового сигнала, подаваемого на вход датчика тока утечки (как правило, значительно превышает частоту питающей сети и может достигать 1кГц или более). Применение схемы с парами обмоток (рис.5) позволяет избежать как модуляции на выходе датчика с частотой питающей сети, так и снизить уровень 1 гармоник тестового сигнала, упростив измерение 2 гармоник. При использовании одной пары вторичных обмоток, невозможно обеспечить оба вида компенсации. Только предложенная двойная пара с катушками на разных магнитопроводах, дает выделение чистой 2 гармоник, пропорциональной току утечки. Указанные пары вторичных катушек включаются между собой встречно, выделяя удвоенную частоту сигнала на входе датчика. График выходного напряжения по результатам моделирования в ANSYS приведен на рис.6, где видно выделенная удвоенная частота 2000 Гц.

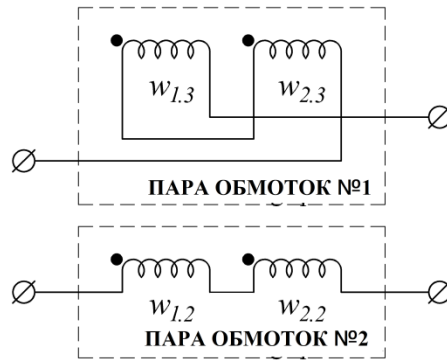


Рис. 5. Принципиальная схема пар вторичных обмоток предлагаемого датчика тока утечки

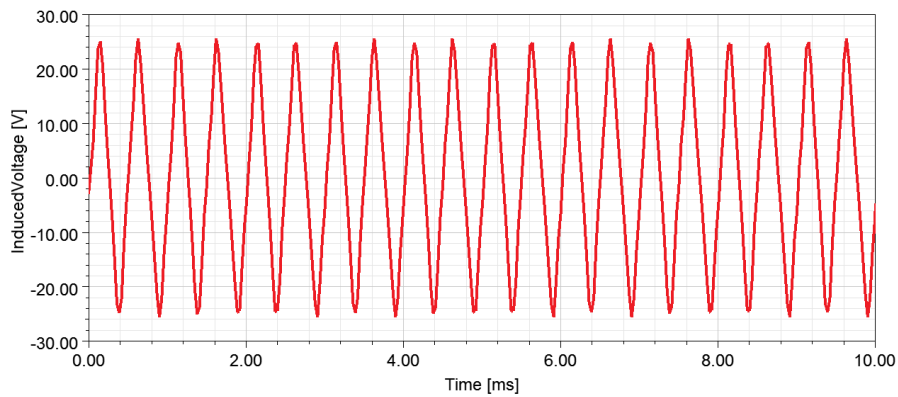


Рис. 6. График выходного напряжения предлагаемого датчика тока утечки



Рис. 7. Патенты на полезные модели РФ, полученные в рамках данного исследования

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная в статье конструкция датчика тока утечки обеспечивает улучшение его работы в сетях с несимметрией токов нагрузки, а также выводит качество выходного напряжения датчика на новый уровень. С применением описанных решений, возможно получение чистой 2 гармоника тестового сигнала на выходе датчика тока утечки, что облегчает измерение его уровня и позволяет отказаться от сложных фильтров, повысив простоту конструкции системы контроля. С применением предложенной конструкции, становится возможным не только прямое измерение уровня выходного напряжения без сложных фильтров, но и рост чувствительности за счет числа витков обмоток (при необходимости).

Автором статьи получено 3 патента на полезные модели, исключительные права на которые он не поддерживает, таким образом, возможен выпуск данной продукции любым желающим на территории РФ без конфликта с монополией патентных прав.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синегубов, А.П. Методы и средства контроля сопротивления изоляции автономных электроэнергетических систем: монография. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 86 с.
2. Синегубов, А.П. Анализ средств контроля сопротивления изоляции электроэнергетических систем постоянного тока // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2015. №1, с.61-65
3. Александров, Э.И. Оценка способов непрерывного контроля изоляции сетей постоянного тока напряжением до 1000 В. ВЦСПС Всесоюзный научно - исследовательский институт охраны труда. – М.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 67. Профиздат, 1970. – С. 37– 43.
4. ООО «Техэлектро СТ». Система контроля изоляции фидеров «СКИФ». Краткие технические характеристики. 2014 г.
5. ООО «Научно-производственный центр «Энергоавтоматика». Микропроцессорный терминал МикроСРЗ-193 для мониторинга сети постоянного тока. Руководство по эксплуатации (техническое описание и инструкция по эксплуатации) ЭА 004.00.00.000 – РЭ. 2006 г.
6. Засыпкин, А.С. Синегубов, А.П. Разработка микропроцессорного устройства контроля сопротивления изоляции систем оперативного постоянного тока // Семинар-совещание начальников служб РЗА АО, начальников электролабораторий электрических станций, ведущих специалистов РЗА ОЭС Северного Кавказа: тез. докл. Пятигорск, 2001. – С. 126–129.
7. Казьмина, Г.В. Засыпкин, А.С., Синегубов А.П. Методы нормирования сопротивления изоляции и их анализ // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. Приложение № 15. Диагностика энергооборудования. Материалы 28 сессии Всероссийского семинара «Кибернетика энергетических систем». – Новочеркасск, 2006. – С. 35–37.
8. Датчик тока утечки. / Коптяев Е.Н. Патент на полезную модель РФ №204520. опубл. 28.05.21, Бюл. №16.
9. Улучшенный датчик тока утечки. / Коптяев Е.Н. Патент на полезную модель РФ №206047. опубл. 17.08.21, Бюл. №23.
10. Датчик тока утечки с повышенной чувствительностью. / Коптяев Е.Н. Патент на полезную модель РФ №206272. опубл. 02.09.21, Бюл. №25.

INSULATION RESISTANCE CONTROL OF LOADS IN SHIP ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Koptiaev Evgenii Nikolaevitsh, post-graduate student

Northen Arctic Federal university (NARFU), Arhangelsk, Russia, e-mail: e.koptyaev@narfu.ru

Insulation monitoring systems are an integral part of the ship's autonomous DC and AC power systems, ensuring their continuous safe operation, measurement and monitoring of insulation resistance in real time. In many cases, it is not allowed to receive power to power electrical networks and to operate

them in the absence or unavailability of insulation monitoring systems. Currently, systems have appeared that provide control not only of the total insulation resistance of the entire electrical network as a whole, but also of individual consumers (loads) – without disconnecting them from the network. The presence of such a feeder control of a load galvanically connected to the electrical network increases the efficiency of finding a fault location, which simplifies the work of personnel and reduces the time required to detect faulty equipment. It also helps to reduce the likelihood of accidents and fires caused by sparking or burning damage. This paper presents a new, innovative design of a leakage current sensor (current transformer) for measuring leakage currents on feeders of a connected load, which makes it possible to determine the insulation resistance for each consumer without disconnecting it from the general network.

УДК 620.9

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В МОРСКИХ ПОРТАХ ДЛЯ БОРЬБЫ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

¹Nikitas Nikitakos, prof., Department of Shipping, Trade and Transport

²Ковалишин Павел Юрьевич, канд. филол. наук, начальник управления международных связей

³Никишин Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

⁴Харитонов Максим Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

¹University of the Aegean, Greece, e-mail: ¹n.nikitakos@aegian.gr

²Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ²pavelkovalishinkaliningrad@mail.ru

³ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ³nikduke@klgtu.ru; ⁴maksim.haritonov@klgtu.ru

Дан анализ негативных воздействий со стороны морских портов на окружающую среду и перспектив применения систем на основе искусственного интеллекта для их снижения. Рассмотрены особенности построения систем электроснабжения морских портов по принципу smart grid на основе возобновляемых источников и накопителей энергии. Дана оценка роли систем искусственного интеллекта для оптимизации структуры и режимов работы систем электроснабжения морских портов.

Функционирование морских портов сопряжено с воздействием на окружающую среду. В контексте борьбы с изменением климата особое внимание уделяется выбросам парниковых газов от грузового транспорта. На период стоянки в порту судну требуется электроэнергия для поддержания процессов и выполнения операций: погрузка, разгрузка, освещение, охлаждение и т.д. Как правило, электроснабжение судна осуществляется от вспомогательных генераторов, работа которых сопряжена с выбросом загрязняющих веществ и звуковым загрязнением. Негативные факторы влияют на рабочую среду и качество жизни горожан, проживающих в районе, прилегающем к порту.

Традиционно для снижения выбросов во время стоянки судна у причала применяется система берегового питания. Однако в большинстве случаев данное решение носит локальный характер и не обеспечивает существенного сокращения выбросов в целом, если потребляемая из береговой сети электроэнергия производится за счет сжигания ископаемого топлива. Концепция порта нулевого выброса предполагает использование возобновляемых источников энергии в составе интеллектуальной системы электроснабжения, использующей ресурсы энергосистемы для целей регулирования и резервирования. В процессе развития подобных систем возникают задачи повышения эффективности производства, распределения и потребления электрической энергии, которые требуют внедрения единых систем управления с элементами искусственного интеллекта.

Классификация систем на основе искусственного интеллекта

Искусственный интеллект (ИИ) разделяется на символический ИИ, который моделирует человеческий интеллект алгоритмически с использованием высокоуровневых символов и логических правил, и на субсимвольный ИИ, который стремится воспроизвести человеческий интеллект с помощью элементарных числовых моделей, которые синтезируют индуктивное интеллектуальное поведение с последовательной самоорганизацией из более простых структурных компонентов («поведенческий искусственный интеллект»), имитирующих реальные функции и функции мозга («вычислительный интеллект»), или являются применением статистических методологий.

Общепринятое понятие искусственного интеллекта предполагает использование методов машинного обучения, которые характеризуются строгими математическими алгоритмами и статистическими методами анализа и делятся на:

- Обучение с учителем – алгоритм конструирует функцию, которая представляет заданные исходные данные и соответствующие им выводы, с конечной целью обобщения этой функции на другие исходные данные. Данный подход используется в задачах классификации, прогнозирования и интерпретации.

- Обучение без учителя – алгоритм строит модель для набора входных данных в форме наблюдений, не зная желаемых выходных данных. Используется в задачах ассоциативного анализа и кластеризации.

- Поддерживающее обучение – алгоритм изучает стратегию действий посредством прямого взаимодействия с окружающей средой.

- Ансамблевые методы объединяют результаты нескольких алгоритмов обучения или разных исходных данных для повышения эффективности решения задач.

Компьютерный искусственный интеллект базируется на обучении посредством повторяющихся процессов на основе эмпирических данных и несимволических методов, в частности:

- Искусственные нейронные сети с широкими возможностями распознавания образов, имитирующие работу нейронов живых существ.

- Системы нечеткой логики – методы принятия решений в условиях неопределенности, основанные на существовании нестрогих сегрегированных ситуаций, приоритетность которых принимается во внимание в каждом конкретном случае.

- Эволюционные вычисления разработаны в результате изучения живых организмов и связаны с такими понятиями, как популяция, мутация и естественный отбор. Эти методы можно разделить на эволюционные алгоритмы и интеллект роя.

Концепция зеленого порта

Концепция «зеленого порта» относится к основным тенденциям развития морских портов и подразумевает экологически безопасную и устойчивую работу портовой инфраструктуры и причалов. Выбросы от двигателей вспомогательных судовых генераторов, снабжающих энергией судно во время стоянки, по некоторым оценкам в десять раз превышают выбросы от портовых операций. Возможности для их уменьшения также гораздо более значительны [1]. Одним из наиболее эффективных вариантов существенного снижения выбросов парниковых газов в портах является внедрение систем берегового питания.

Увеличение численности мирового флота и, как следствие, частоты захода судов в порты, наряду с возрастающими требованиями к мощности и качеству электроэнергии в системах берегового питания приводят к усложнению схемы подключения судна к источнику энергии (рис. 1) [2]:

- Подключение системы электроснабжения порта 6-10 кВ к сетям системы 35-110 кВ.
- Передача электроэнергии по сетям порта к колонке берегового питания.
- Преобразование частоты с 50 Гц на 60 Гц в зависимости от типа судна.
- Передача электроэнергии на борт судна посредством специальной кабельной системы с электромеханическим или электрогидравлическим приводом.

- Трансформация напряжения на борту под требуемый судовой стандарт.
- Согласование параллельной работы судовой и береговой системы.

Подключение судна к системе берегового питания осложняется рядом факторов. Во-первых, частота судовой сети может составлять 60 Гц при стандартной частоте в российских и европейских береговых сетях 50 Гц. Ряд судовых электроприемников не требователен к частоте питающего напряжения (обогрев, освещение). Однако основные электрические нагрузки судна включают двигательное оборудование, что приводит к нарушению технологического процесса при несоответствии частоты питающего напряжения. По этой причине судовые сети со стандартом 60 Гц требуют наличия преобразователя частоты в системе берегового питания.

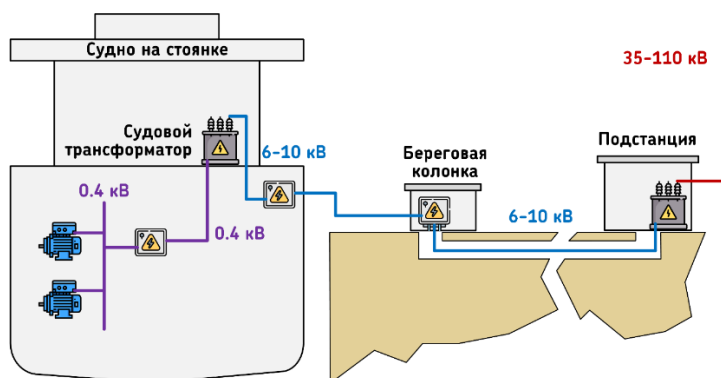


Рис. 1. Структурная схема системы берегового питания судна

Вторым аспектом является величина номинального напряжения судовой сети, которая может различаться в зависимости от энерговооруженности судна. В случае подключения к системе берегового питания на среднем классе напряжения, как правило, необходимо наличие специального трансформатора на борту судна (рис. 1).

Третьим аспектом являются вопросы безопасности. Береговое питание сопряжено с высоким риском травм из-за необходимости обращения с тяжелыми и габаритными высоковольтными кабелями и разъемами. Повышенные физические нагрузки наряду с риском электротравм создают опасности для здоровья персонала, а также предъявляют повышенные требования к его квалификации.

В зависимости от типа и назначения судна требования к мощности и параметрам берегового подключения могут существенно различаться. К распространенным типам судов относятся контейнеровозы, ролкеры, танкеры и пассажирские суда. В таблице 1 приведены сводные данные о потребляемой мощности для распространенных типов судов [3].

Таблица 1

Данные о энергопотреблении морских судов

Тип судна	Средняя мощность, кВт	Пиковая мощность, кВт	
		максимальная	для 95 % судов
Контейнеровозы (менее 140 м)	170 kW	1 000 kW	800 kW
Контейнеровозы (более 140 м)	1 200 kW	8 000 kW	5 000 kW
Контейнеровозы (в целом)	800 kW	8 000 kW	4 000 kW
Ролкеры	1 500 kW	2 000 kW	1 800 kW
Танкеры	1 400 kW	2 700 kW	2 500 kW
Пассажирские суда (менее 200 м)	4 100 kW	7 300 kW	6 700 kW
Пассажирские суда (более 200 м)	7 500 kW	11 000 kW	9 500 kW
Пассажирские суда (в целом)	5 800 kW	11 000 kW	7 300 kW

Принципы построения интеллектуальной системы электроснабжения морского порта

Системы энергоснабжения крупных морских портов, как правило, представляют собой традиционную распределительную систему с хорошо развитой инфраструктурой, аналогичную по сложности системе энергоснабжения мегаполисов [4]. Потребление электроэнергии в портах значи-

тельно выросло за последнее десятилетие и будет продолжать расти из-за операционных, нормативных и экологических факторов. Управление и оптимизация таких систем становятся все более сложными. Для достижения целей по нулевым выбросам и решения задач, касающихся устойчивости и экологичности морских портов, внедряются новые технологии. Одно из возможных решений - использование перспективного типа энергосистемы умной сети «смарт грид» [1].

Концепция «смарт грид» (рис. 2) [1,5] представляет собой самовосстанавливающуюся сеть, оснащенную средствами динамической оптимизации, которые используют измерения в реальном времени для уменьшения сетевых потерь, поддержания уровней напряжения, повышения надежности и т.д. Однако работоспособность интеллектуальной сети в первую очередь зависит от выявления и исследования важнейших показателей эффективности, проектирования и тестирования подходящих технических решений, а также разработки надлежащей образовательной программы для подготовки специалистов к встрече с вызовами, сопряженными с развертыванием данной системы.

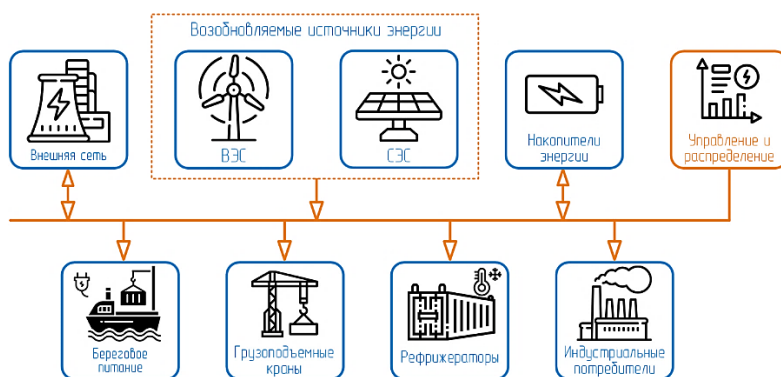


Рис. 2. Структурная системы смарт грид морского порта

Система смарт грид морского порта (рис. 2) [6] имеет связь с несколькими возобновляемыми источниками энергии, в частности: офшорными ветровыми электростанциями, фотоэлектрическими электростанциями, объектами волновой или приливной энергетики, а в ряде случаев – с объектами геотермальной энергетики. Связь с электрическими сетями системы позволяет обеспечить резервирование. Цифровая система измерения, покрывающая все системы порта, позволяет собирать данные для мониторинга потребности порта в энергии и её оптимального распределения по потребителям из доступных объёмов производства и накопления. Избыточная энергия, производимая на основе возобновляемых источников, преобразуется в водород или хранится в батареях большой емкости. Производимый водород используется для работы портовой техники.

В подобных условиях системы смарт грид со сложной инфраструктурой полное замещение традиционных источников на возобновляемые требует внедрения оптимизационных алгоритмов как в системы управления, так и на стадии проектирования. Решения оптимизационных задач позволят определить требуемые объёмы накопления и генерации энергии. Алгоритм управления питанием может обеспечить оптимизацию баланса мощности между возобновляемыми источниками, устройствами хранения и электрической сетью или выполнять оптимальное планирование работы накопителей для увеличения срока службы таких устройств.

К основным предпосылкам развития смарт грид с нулевым выбросом относятся [7]:

1. Снижение загрязнения окружающей среды в соответствии с положениями новых правил ИМО и ЕС [8], поддерживающих переход к возобновляемым источникам энергии, береговому питанию, а также минимизация электрификации других вспомогательных систем за счет энергии ископаемого топлива [9].

2. Адаптация гаваней к технологическому развитию судов и связей судно-берег. Системы берегового питания и подключение к офшорным возобновляемым источникам энергии потребуют специальной системы управления энергопотреблением [10]. Среди потенциальных участников в будущем – суда на электродвижении с накопителями энергии.

3. Развития портов в ответ на увеличение количества морских перевозок и расширение морской зоны гавани, развитие электрического транспорта.

4. Возможность развития местных возобновляемых источников энергии, которые существуют в портовых районах, но редко используются [11].

Роль искусственного интеллекта в концепции порта с нулевым выбросом

В наиболее полной степени потенциал методов ИИ применительно к интеллектуальной системе электроснабжения раскрывается в задачах прогнозирования нагрузки, оценки устойчивости системы, обнаружения неисправностей и обеспечения безопасности сети.

Прогнозирование нагрузки. Возобновляемая энергия зависит во времени от условий окружающей среды, а ее интеграция в электрическую сеть порта создает неопределенность в планировании и работе системы. Прогнозирование нагрузки является ключевым компонентом для поддержания стабильной работы подобной системы. Прогнозирование нагрузки классифицируется по трём временным интервалам: краткосрочный прогноз (от минут до часов); среднесрочный прогноз (от часов до недель) и долгосрочный прогноз (годы).

Краткосрочное прогнозирование нагрузки может осуществляться на основе ансамблевого метода, технологии глубокого обучения или многослойных глубоких нейронных сетей.

Среднесрочное прогнозирование используется для координации распределения нагрузки, планирования технического обслуживания и балансировки спроса и генерации. Проводятся исследования по развертыванию модели глубокой нейронной сети [13] с оптимизированным обучением для среднесрочного прогнозирования в крупных энергосистемах. Также успешно применяются модели на основе нейронных сетей в сочетании с оптимизационными алгоритмами роя частиц.

Долгосрочное прогнозирование нагрузки используется для оценки роста энергопотребления, системного планирования и разработки плана ввода новых генерирующих мощностей в энергосистемах. Для долгосрочного периода применяются искусственные нейронные сети, метод опорных векторов и рекурсивные нейронные сети.

Оценка устойчивости системы. Устойчивость имеет основополагающее значение для обеспечения надежности и безопасности функционирования порта. Устойчивость системы определяет её способность оставаться в рабочем состоянии равновесия или быстро достигать нового рабочего состояния равновесия после возмущения. В вопросах устойчивости можно выделить четыре основных аспекта, оценка которых производится различными методами ИИ:

- Устойчивость в переходных процессах: алгоритмы машинного обучения на основе дерева решений, метод опорных векторных и искусственные нейронные сети.
- Стабильность частоты: в основном используется машинное обучение.
- Устойчивость при малых воздействиях: сверточные нейронные сети и метод роя частиц.
- Стабильность напряжения: искусственные нейронные сети, метод опорных векторов и алгоритмы, основанные на деревьях решений.

Обнаружение неисправностей. В системах smart grid в основном используется для обнаружения места неисправности системы, включающей основную сеть и ряд возобновляемых источников энергии, распределенных между несколькими географическими точками. Алгоритм подразумевает сопоставление данных измерений с моделями на основе метода опорных векторов и искусственных нейронных сетей.

Безопасность smart grid. За счет интеграции передовых вычислительных и коммуникационных технологий, интеллектуальная сеть объединяет распределенную и экологически чистую энергию с электросетью, добавляя киберслой к электросети и обеспечивая двусторонний поток энергии и передачу данных. Однако в условиях глубокой цифровизации возрастает значимость вопросов безопасности из-за сложности систем интеллектуальных сетей и уязвимости коммуникационных технологий. Наиболее вероятными последствиями кибератак интеллектуальных сетей являются сбои в работе, потеря синхронизации, прерывание электроснабжения, значительный финансовый ущерб, ущерб общественному благосостоянию, хищение данных, каскадные сбои и полное отключение электроэнергетики.

Заключение

Морские суда представляют собой один из крупнейших и наиболее трудно поддающихся регулированию источников загрязнения воздуха, а также являются важным компонентом процесса международной торговли и движения товаров. Энерговооруженные суда по мощности сопоставимы

с плавучими электростанциями, при этом современные тенденции предполагают дальнейшее увеличение энергопотребления. В контексте ужесточения требований к ограничению уровней выбросов большинство портов по всему миру изучают возможности использования берегового электрообеспечения судов. Новая концепция интеллектуальной сети с использованием возобновляемых источников требует соответствующего управления энергопотреблением, которое в настоящее время может быть реализовано на основе методов искусственного интеллекта. Проведённый анализ потенциальных методов искусственного интеллекта для управления энергопотреблением порта с нулевым уровнем выбросов показывает наличие широкой инструментальной базы для построения эффективных систем smart grid. Среди рассмотренных подходов особо перспективным является оптимизация методом роя частиц, подходящая для интеллектуальной портовой системы, включающей несколько географически распределённых возобновляемых источников энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nikishin, A. J., & Kharitonov, M. S. (2021, March). Modernization of marine ports electrical power supply systems in the framework of zero-emission strategy. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 689, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
2. Tzannatos, E. “Cost assessment of ship emission reduction methods at berth: the case of the Port of Piraeus, Greece”, *Maritime Policy & Management*, Vol. 37, No. 4, pp. 427-445, 2010.
3. N. Nikitakos I. G. Dagkinis, P. Kofinas D. Papachristos Green Logistics - The concept of Zero Emissions Port based on PSO’ Proceedings of the Maritime and Port Logistics of the XXIII International Conference MHCL 2019 pp. 38-42
4. Beley, V., Nikishin, A., & Gorbatov, D. (2018, September). Strategy of Metropolis Electrical Energy Supply. In *International Conference on Advanced Engineering Theory and Applications* (pp. 870-879). Springer, Cham.
5. Momoh, J.: *Smart Grid: Fundamentals of Design and Analysis*, IEEE Press, 2012.
6. Никишин, А.Ю. Проблемы интеграции возобновляемых источников энергии в системы электроснабжения морских устьевых портов / А.Ю. Никишин, М.С. Харитонов, И.Е. Кажекин // *Морские интеллектуальные технологии*. –2020. – №4-2(50). – С.32-38.
7. Anthony Roy , François Auger , Jean-Christophe Olivier , Emmanuel Schaeer and Bruno Auvity ‘Design, Sizing, and Energy Management of Microgrids in Harbor Areas: A Review’ *Energies* 2020, 13, 5314; doi:10.3390/en13205314
8. European Commission. Commission Recommendation of 8 May 2006 on the promotion of shore-side electricity for use by ships at berth in Community ports. Off. J. Eur. Union 2006.
9. Kotrikla, A.M.; Lilas, T.; Nikitakos, N. Abatement of air pollution at an aegean island port utilizing shore side electricity and renewable energy. *Mar. Policy* 2017, 75, 238–248.
10. Fang, S.; Wang, Y.; Gou, B.; Xu, Y. Towards Future Green Maritime Transportation: An Overview of Seaport Microgrids and All-electric Ships. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2020, 69, 207–219
11. Ahamad, N.B.; Othman, M.; Vasquez, J.C.; Guerrero, J.M.; Su, C.-L. Optimal sizing and performance evaluation of a renewable energy based microgrid in future seaports. In *Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, Lyon, France, 19–22 February 2018; pp. 1043–1048.
12. Omitaomu, O.A.; Niu, H. Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid: A Survey. *Smart Cities* 2021, 4, 548–568. <https://doi.org/10.3390/smartcities4020029>
13. Askari, M.; Keynia, F. Mid-term electricity load forecasting by a new composite method based on optimal learning MLP algorithm. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2019, 14, 845–852.
14. Liu, Z.; Sun, X.; Wang, S.; Pan, M.; Zhang, Y.; Ji, Z. Midterm power load forecasting model based on kernel principal component analysis and back propagation neural network with particle swarm optimization. *Big Data* 2019, 7, 130–138.

PROSPECTS FOR USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO COMBAT CLIMATE CHANGE IN SEA PORTS

¹Nikitas Nikitakos, prof. Department of Shipping, Trade and Transport

²Pavel Kovalishin, Dr.Sc., Head of International Relations Department

³Nikishin Andrey, Dr.Sc.(eng.), associate professor

⁴Kharitonov Maxim, Dr.Sc.(eng.), associate professor

¹University of the Aegean, Greece, e-mail: ¹n.nikitakos@aegian.gr

²BFFSA of KSTU, Kaliningrad, Russia, e-mail: ²pavelkovalishinkaliningrad@mail.ru

³FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ³nikduke@klgtu.ru; ⁴maksim.haritonov@klgtu.ru

The article analyzes the negative impacts of seaports on the environment and the prospects for using systems based on artificial intelligence to reduce them. The features of seaport power supply systems design according to the smart grid principle based on renewable sources and energy storage are considered. An assessment of the role of artificial intelligence systems for optimizing the structure and operating modes of power supply systems of seaports is given.

УДК 621.31

ПЕРСПЕКТИВЫ ТЕХНОЛОГИИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ МОРСКОГО ПОРТА

¹Никишин Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

²Харитонов Максим Сергеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

³Зубавичюс Роман Виргиневич, студент гр. 18-ЭЭ кафедры электрооборудования судов и электроэнергетики

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ^{1,2,3}infotech.zub@yandex.ru

Рассмотрены вопросы изменения графика электрической нагрузки предприятия за счет использования накопителя с учетом тарифной политики на примере Калининградского морского торгового порта. Дан анализ графиков электрических нагрузок предприятия. Разработан алгоритм для определения величины мощности, оптимальной для работы накопителя.

Система накопления энергии предназначена для аккумуляирования, хранения и отдачи электроэнергии в сеть или нагрузку с целью поддержания функционирования энергосистемы с обеспечением требуемого качества электроэнергии и реализации необходимых режимов [1]. Применение накопителей электрической энергии в электроэнергетических системах открывает новые возможности повышения качества управления режимами и улучшения экономических показателей.

В условиях российских оптового и розничного рынков электроэнергии существует возможность применения систем накопления электроэнергии прежде всего для регулирования затрат на покупку электроэнергии [2]. Различные аспекты данного научного направления активно прорабатываются зарубежными и российскими авторами. В частности, анализируются перспективы приме-

нения систем накопления электроэнергии в системе электроснабжения железных дорог [3]; рассматривается использование накопителей энергии в качестве бесперебойного источника в энергетической системе [4-6].

Накопители электроэнергии рассматриваются в качестве средств покрытия пиков графиков нагрузки в условиях изолированной системы [7], а также в условиях систем электроснабжения промышленных предприятий в совокупности с системами на основе суперконденсаторов [8]. К числу перспективных направлений относится применение накопителей для коррекции графиков нагрузки с целью уменьшения расходов на оплату электроэнергии путем сглаживания пиков потребления [9, 10].

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что актуальной является проблематика, связанная с решением различных задач по исследованию применения технологий накопления электроэнергии для повышения экономической эффективности функционирования предприятий, в частности, морских портов со сложно прогнозируемой нагрузкой.

Тарифные условия морского торгового порта

Калининградский морской торговый порт как потребитель электроэнергии относится к VI ценовой категории. Ценовая категория – это варианты тарифа для потребителя розничном рынке электроэнергии. Ценовая категория определяет, каким образом в конечную цену включается цена электроэнергии и мощности, какой в цену заложен тариф на передачу энергии и требуется ли производить планирование почасового потребления. Для потребителей, относящихся к VI ценовой категории электроэнергия оплачивается по часам, а плата за мощность взимается отдельно.

Плата за потребление электроэнергии складывается из оплаты фактического объема потребления и стоимости отклонений фактического потребления от договорного. Таким образом, от потребителя требуется на сутки вперед прогнозировать график нагрузки.

Генерирующая мощность (мощность покупки) представляет из себя среднее за месяц из максимальных значений потребления предприятия в часы пиковой нагрузки для региона. Плановые часы пиковой нагрузки по месяцам устанавливаются гарантирующим поставщиком (АО «Янтарь-энергосбыт») и не всегда совпадают с часами пиковой нагрузки самого предприятия. Для марта, апреля и мая 2021 года ставки за генерирующую мощность на уровне высокого напряжения составляют 1201,84, 1156,58 и 1138,47 рублей/МВт соответственно.

Оплата сетевой мощности (мощность передачи) включает в себя услуги по передаче электрической энергии, с учетом расходов на содержание электрических сетей. Величина сетевой мощности – среднее за месяц из пиковых значений потребления мощности предприятием. В марте, апреле и мае 2021 года ставка составила 708,8869 рублей/МВт.

Анализ графика нагрузки морского торгового порта

График нагрузки Калининградского морского торгового порта (рис. 1) можно охарактеризовать как неравномерный – наблюдаются множественные падения и провалы. Коэффициент неравномерности суточных графиков электрической нагрузки α определяется [11] по выражению:

$$\alpha = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}, \quad (1)$$

где P_{\min} – минимальное значение ординаты суточного графика нагрузки, кВт;

P_{\max} – максимальное значение ординаты суточного графика нагрузки, кВт.

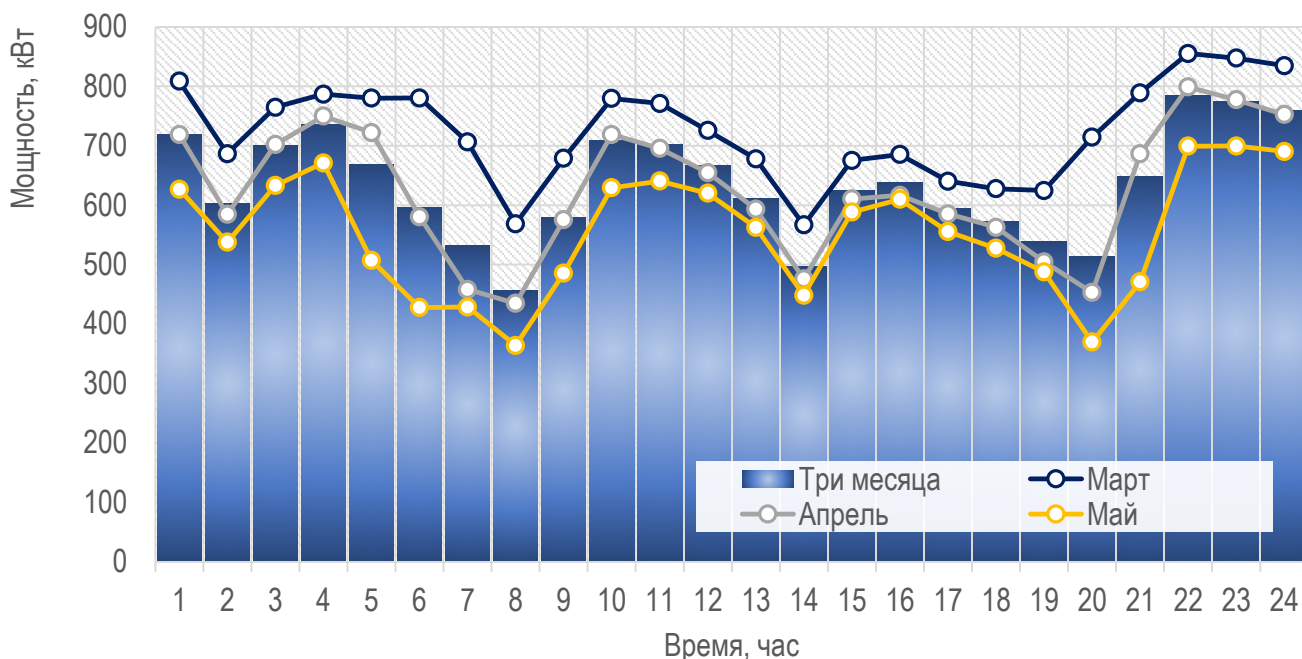


Рис. 1. Средние значения почасового потребления электрической мощности

Величины коэффициентов неравномерности, определенные по формуле (1) для суточных графиков нагрузки, значительно отличаются в зависимости от месяца (рис. 2). Исходя из этого можно сделать вывод, что нагрузка калининградского морского торгового порта представляет собой сложно прогнозируемую величину.

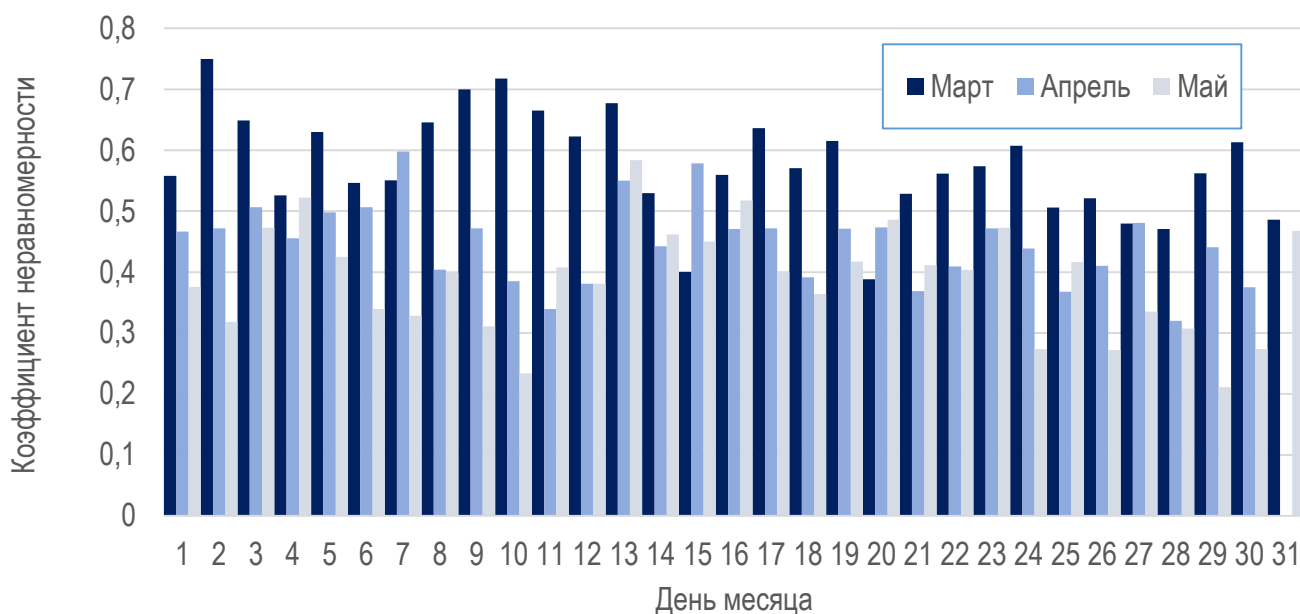


Рис. 2. Коэффициенты неравномерности суточных графиков нагрузки порта

Методология программной оптимизации

Для целей исследования графиков нагрузки с позиции внедрения системы накопления энергии в пакете прикладных математических программ RTC Mathcad разработан расчетный модуль, позволяющий производить оценку объемов энергии, который требуется запастись.

В основе расчетного модуля лежит алгоритм поиска значения мощности, оптимального для работы накопителя P_{opt} (рис. 3). Алгоритм позволяет для произвольного суточного графика нагрузки

определить величину мощности P_{opt} , такую, что значения потребления электроэнергии, превышающие данную величину с учетом потерь при преобразовании и эффективности накопителя, максимально близки к объемам энергии, которые может запасть накопитель без превышения данной величины мощности.

```

W_lower(P_opt, day) :=
  sum ← 0
  for hour ∈ 1..24
    sum ← sum + [P_opt - (Graph_day)_hour] if [P_opt - (Graph_day)_hour] ≥ 0
  return sum

W_higher(P_opt, day) :=
  sum ← 0
  for hour ∈ 1..24
    sum ← sum + (Graph_day)_hour - P_opt if [(Graph_day)_hour - P_opt] ≥ 0
  return sum

P_opt(day) :=
  border ← min(Graph_day)
  while border < max(Graph_day)
    Wh ← K · W_higher(border, day)
    Wl ← W_lower(border, day)
    if Wh ≥ Wl - ERR ∧ Wh ≤ Wl
      return border
    break
    border ← border + 1
  return "not found"

```

$P_{opt}(day)$ – величина мощности, оптимальная для применения накопителя

$Graph_{day}$ – суточный график нагрузки

K – коэффициент, учитывающий потери и к.п.д. накопителя

W_{higher} – объем энергии, отданный накопителем без учета потерь и к.п.д.

W_{lower} – объем энергии, запасенный накопителем

ERR – величина, равная допустимой разнице между запасаемым и отдаваемым (с учетом потерь и к.п.д.) объемами энергии

Рис. 3. Программная реализация алгоритма по определению величины оптимальной для накопителя мощности

Программа получает на вход номер дня day (из 92 за три месяца). В массиве Graph содержатся суточные графики нагрузки каждого дня за три месяца. Нижняя и верхняя границы диапазона (border) поиска величины P_{opt} определяются как база и пик суточного графика нагрузки ($Graph_{day}$) соответственно. Величиной ERR задаются границы интервала, в который попадает выходное значение величины P_{opt} . Переменные W_{higher} и W_{lower} определяют объемы энергии – отдаваемый (без учета потерь и к.п.д.) и запасаемый накопителем соответственно. Величину предполагаемых потерь в накопителе можно учитывать с помощью регулирования коэффициента K.

Второй алгоритм расчетного модуля производит «идеальное сглаживание» графика нагрузки. Независимо от системы управления работой накопителя принимается, что в течение суток накопитель запасает энергию в часы, когда нагрузка ниже P_{opt} , и выдает электроэнергию в сеть предприятия, когда нагрузка превышает P_{opt} . Таким образом, форма суточного графика нагрузки предприятия для энергосистемы будет близкой к прямоугольной. Для предприятия же график нагрузки будет иметь первоначальный вид (рис. 4).

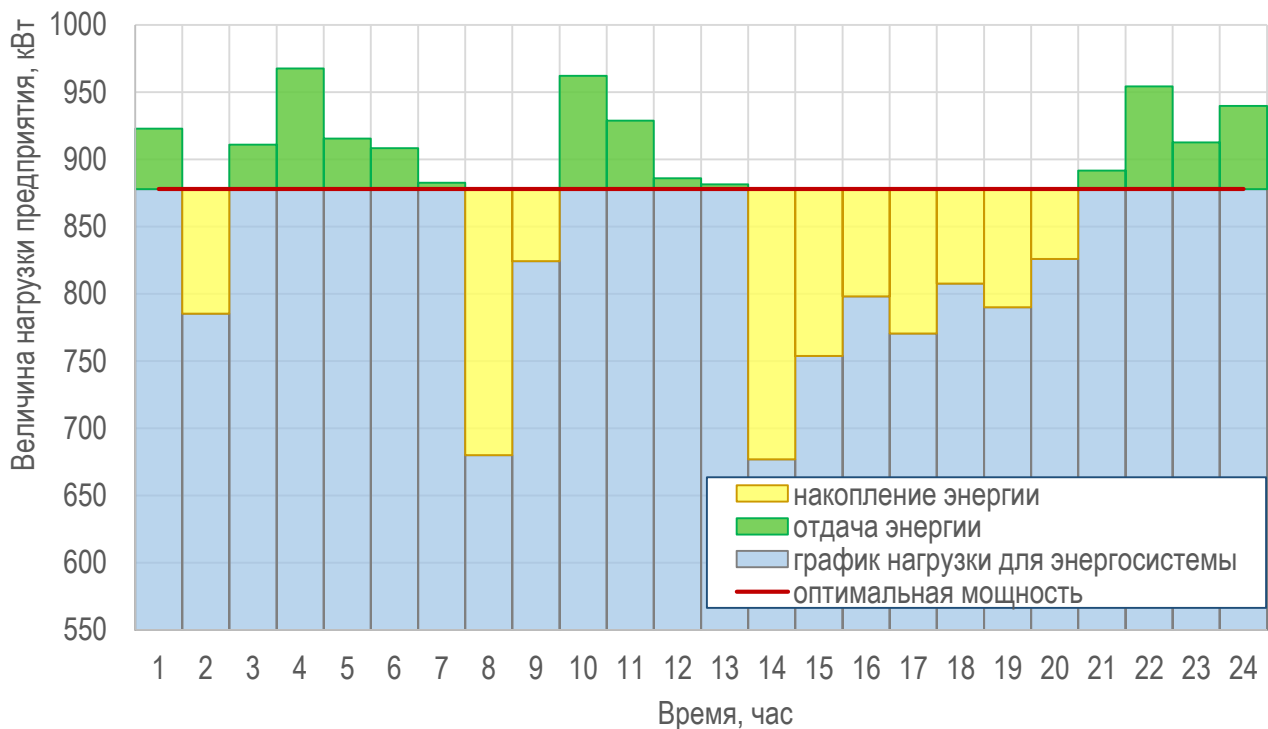


Рис. 4. Суточный график нагрузки предприятия за 9 марта 2021 г.

Расчет экономической эффективности применения накопителя

С учетом коэффициента полезного действия накопителя энергии и потерь при преобразовании электроэнергии, расчетный коэффициент K принят равным 1,46. Это означает, что объемы энергии, которые должен выдавать накопитель за сутки, в 1,46 раз больше объема энергии, которые может запастись накопитель без превышения $P_{\text{орт}}$.

Из платежных документов предприятия за три месяца (март, апрель, май 2021 года), были получены пиковые часы региона и предприятия для определения величин генерирующей и сетевой мощностей. Было учтено, что значения мощности фиксируются не каждый день месяца. С использованием описанных выше алгоритмов было произведено «идеальное сглаживание» суточных графиков нагрузки (три месяца, 92 дня), имитирующее работу накопителя. Затем были получены средние значения мощности в пиковые часы для региона и предприятия, соответствующие генерирующей (рис. 5) и сетевой (рис. 6) мощностям.

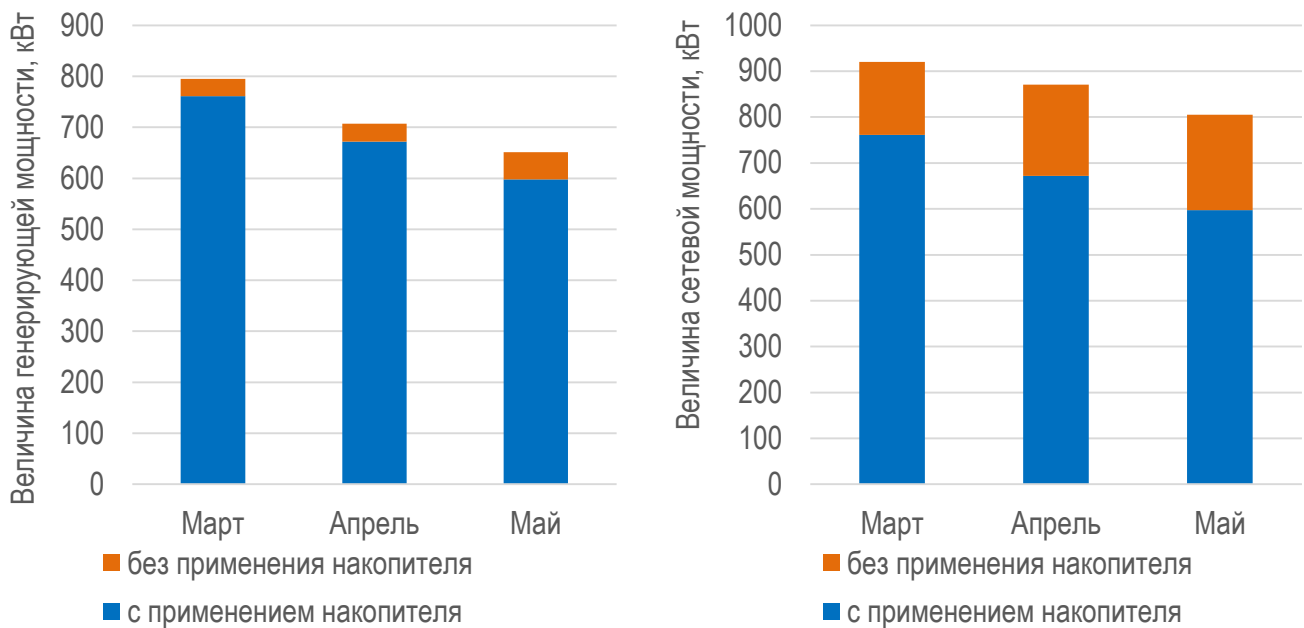


Рис. 5. Величины генерирующей и сетевой мощности без учета накопителя и с учетом накопителя за три анализируемых месяца

Полученные величины сетевой и генераторной мощностей были использованы для определения величины экономии средств при применении накопителя. В таблице 1 приведены результаты расчетов разницы в оплате.

Таблица 1

Результаты расчетов экономической эффективности применения накопителя

Показатель	Тип мощности	Месяц		
		Март	Апрель	Май
Ставка за мощность, руб./кВт	Генерирующая	1201,84	1156,57	1138,47
	Сетевая	708,88	708,88	708,88
Величина оплачиваемой мощности без применения накопителя, кВт	Генерирующая	795	707	651
	Сетевая	920	871	805
Величина оплачиваемой мощности с применения накопителя, кВт	Генерирующая	761,3	672,1	597,6
	Сетевая	761,3	672,1	597,6
Разница в оплате, тыс. руб.	Генерирующая	40,863	40,480	61,477
	Сетевая	191,093	141,068	147,448

Заключение

Накопители электрической энергии успешно используются на уровне энергосистем для обеспечения качества электроэнергии и поддержания заданных режимов работы. В случае систем электроснабжения объектов промышленности возможности применения накопителей существенно расширяются. Результаты проведенного исследования показывают возможность применения накопителей для корректировки формы суточного графика нагрузки с целью снижения общих затрат на электроэнергию, что особо актуально в условиях морских портов, имеющих сложно прогнозируемую электрическую нагрузку.

Следует отметить, что результаты работы расчетного модуля позволяют лишь приблизительно оценить количественно эффективность применения накопителя энергии. Более точная оценка эффективности использования накопителей требует многокритериального анализа в долгосрочном периоде для выявления сезонных закономерностей и адаптации под них разработанного алгоритма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ibrahim H., Pinca A., Perron J. Energy storage systems—Characteristics and comparisons //Renewable and sustainable energy reviews. – 2008. – Т. 12. – №. 5. – С. 1221-1250.
2. Solovyova I.A., Dzyuba A.P. Management of energy consumption by demand volatility indicators. Bulletin of Kazan State Power Engineering University. 2017. no. 1 (33). pp. 36–43. (in Russian).
3. Черемисин В. Т., Незевак В. Л. Перспективы применения систем накопления электроэнергии на Московском центральном кольце // Бюллетень результатов научных исследований. – 2020. – Вып. 2. – С. 33–44. DOI: 10.20295/2223-9987-2020-2-33-44, Закарюкин Василий Пантелеймонович, Крюков Андрей Васильевич, Черепанов Александр Валерьевич Применение накопителей энергии в системах тягового электроснабжения железных дорог переменного тока // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2014. №2 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-nakopiteley-energii-v-sistemah-tyagovogo-elektrosnabzheniya-zheleznyh-dorog-peremennogo-toka> (дата обращения: 20.09.2021).
4. Накопители энергии в электрических системах: Учеб. Пособие для электроэнергет. спец. вузов / Ю.Н. Астахов, В.А. Веников, А.Г. Тер-Газарян. – М.: Высш. шк., 1989. – 159 с.
5. Надараиа Ц. Г. и др. Источник бесперебойного питания на основе химико-кинетического накопителя энергии //Решетневские чтения. – 2016. – Т. 1. – №. 20.
6. Ворожейкин В. В., Сухин А. В. Суперконденсаторный источник бесперебойного питания шины постоянного тока частотно-регулируемого привода. – 2018.]
7. Кононенко В. Ю. и др. Эффекты применения накопителей энергии в изолированных энергосистемах России //Арктика: экология и экономика. – 2014. – №. 2. – С. 14.
8. Бельский А. А., Скамьин А. Н., Васильков О. С. Применение гибридных накопителей электроэнергии для выравнивания графика нагрузки предприятий //Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2020. – Т. 63. – №. 3. – С. 212-222.].
9. Валиев Б. Х., Логачева А. Г., Зацаринная Ю. Н. Оптимизация затрат на электроснабжение предприятия ооо «промэнерго» при помощи системы накопления энергии //Труды Академэнерго. – 2020. – №. 3. – С. 99-113.
10. Нестеренко Г. Б. и др. Методика расчёта параметров системы накопления энергии для снижения расходов предприятия на электроэнергию //Электротехника глазами молодежи. – 2020. – С. 175-178.
11. ГОСТ 19431-84. Энергетика и электрификация. Термины и определения: принят Комитетом стандартов, мер и измерительных приборов при Совмине СССР: дата введения 1986-01-01. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200005816?section=text> (дата обращения: 16.9.2021). – Текст: электронный.

PROSPECTS OF TECHNOLOGIES FOR REGULATING THE LOAD SCHEDULE TO REDUCE THE COSTS OF THE SEA PORT

¹Nikishin Andrey, Dr.Sc.(eng.), associate professor

²Kharitonov Maxim, Dr.Sc.(eng.), associate professor

³Roman Zubavichus, student

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

^{1,2,3}e-mail: infotech.zub@yandex.ru

The article discusses the issues of regulating the electrical load schedule of the enterprise through the use of a storage device, taking into account the tariff policy on the example of the Kaliningrad Sea Trade Port. The analysis of the electrical loads graphs of the enterprise is given. An algorithm has been developed to determine the optimal power value for the storage device.

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ КОМПРЕССОРОМ

Павликов Сергей Алексеевич, доцент, канд. техн. наук

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»
Калининград, Россия, e-mail: sergeypavlikov@mail.ru

Цель этой работы заключается в замене релейно-контактной схемы, изображённой на рисунке 1, логической с помощью программного обеспечения логического модуля LOGO, который применяется для построения программируемых устройств автоматического управления.

Рассмотрим релейно-контактную схему управления компрессор:

Она состоит из:

- линейного контактора Л;
- контактора К;
- реле времени 1РВ, 2РВ;
- промежуточных реле 1РП, 2РП, 3РП;
- электромагнитного клапана ЭМК, тепловых реле 1РТ, 2РТ;
- переключателя режимов работы, контактного манометра с двумя контактами РДmin и РДmax.

Переключатель режимов работы задаёт ручное или автоматическое управление.

Для ручного управления переводим переключатель в ручной режим, и контакт 5-6 замыкается. При этом напряжение поступает к кнопке «Пуск». При нажатии на кнопку «Пуск» на контактор Л подаётся напряжение, замыкается контакт Л, шунтирующий кнопку «Пуск», и контакты Л, через которые на электродвигатель подаётся напряжение. Одновременно с этим замыкается блок-контакт Л и на контактор К подаётся напряжение, контакты К1 и К2 замыкаются, электромагнитный клапан открывается, и начинается продувка компрессора сжатым воздухом. Через контакт Л напряжение подаётся на реле времени 1РВ, которое начинает отсчёт 20 секунд, в течение которых продувка продолжается. По истечении 20 секунд реле времени 1РВ срабатывает, контакт 1РВ1 замыкается и на промежуточное реле 1РП подаётся напряжение. Вследствие этого размыкается контакт 3РП1 (реле 1РВ обесточивается), размыкается контакт 3РП2 (контактор К обесточивается, его контакты К1 и К2 размыкаются и электромагнитный клапан отключается), замыкается контакт 3РП3, и напряжение подаётся на реле времени 2РВ. Реле 2РВ начинает отсчёт времени в 20 минут, по истечении которых реле 2РВ срабатывает и его контакт 2РВ1 размыкается, и 3РП обесточивается. Одновременно с этим замыкается контакт 3РЛ2 (на контактор К подаётся напряжение, контакты К1 и К2 замыкаются, электромагнитный клапан открывается), размыкается контакт 2РП3 (реле времени 2РВ обесточивается) и замыкается контакт 3РП1 (на реле времени 1РВ подаётся напряжение) и цикл повторяется.

Автоматический режим основан на действии реле минимального и максимального давлений.

Для автоматического управления переводим переключатель в автоматический режим, и контакты 1-2 и 3-4 замыкаются.

При достижении в баллоне установленного минимального давления замыкается контакт РДmin, напряжение подаётся на промежуточное реле 1РП, замыкается контакт 1РП1, напряжение подаётся на контактор Л, так как кнопка «Пуск» зашунтирована контактом 1-2, замыкается контакт 1РП3, и РДmin шунтируется. Контакты Л замыкаются (включается электродвигатель), замыкается блок-контакт Л. напряжение подаётся на контактор К, контакты К1 и К2 замыкаются и электромагнитный клапан открывается.

При достижении в баллоне установленного максимального давления замыкается контакт РДmax, напряжение подаётся на промежуточное реле 2РП, контакт 2РП2 замыкается (шунтируется РДmax), контакт 2РП1 размыкается, реле 1РП обесточивается, размыкается контакт 1РП1, контактор Л обесточивается, контакты Л и блок-контакт Л размыкаются (электродвигатель выключается), контактор К обесточивается, контакты К1 и К2 размыкаются, и электромагнитный клапан закрывается.

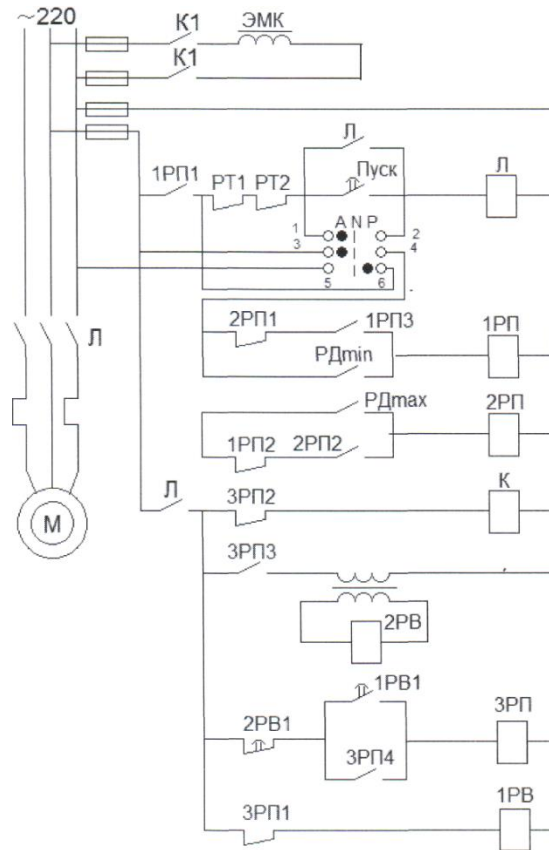


Рис. 1 Релейно-контактная схема управления компрессором.

На логическом модуле LOGO (рисунок 2), имеются восемь входов, из которых задействованы семь. К ним подключена: два тепловых реле, кнопка пуск, переключатель автоматического режима, переключатель ручного режима, и два реле давления.

Из четырёх выходов логического модуля задействованы два: линейный контактор Л и контактор К.

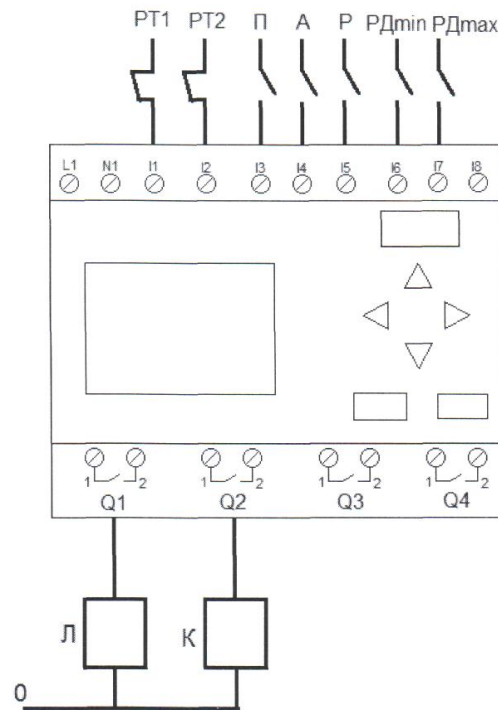


Рис. 2 Базовый модуль

Работа микропроцессорной логической схемы управления компрессором, изображённой на рисунке 3.

1. Ручной режим.

В исходном положении контакты тепловых реле РТ1 и РТ2 замкнуты. Следовательно, через их контакты на входы I1 и I2 будут поданы логические «1».

Переключатель режимов работы необходимо установить в ручной режим, при этом замкнется контакт, через который логическая «1» подается на вход 15.

Далее необходимо нажать кнопку «Пуск», которая замкнет свой контакт, и логическая «1» будет подана на вход 13.

Т.о. когда на каждый из 4-х входов V001 («И») будет подана логическая «1», данный элемент свою очередь подаст логическую «1» на выход Q1.

Q1 замкнет свой контакт, через который двигатель электропривода подключится к сети. Компрессор начнет работать.

2. Автоматический режим.

В исходном положении контакты тепловых реле РТ1 и РТ2 замкнуты. Следовательно через их контакты на входы I1 и I2 подаются логические «1».

Переключатель режимов работы необходимо установить в автоматический режим. Переключатель замкнет свой контакт, подающий логическую «1» на вход I4.

В нашем случае давление сжатого воздуха в баллоне понизилось до минимального уровня (давление настройки контакта манометра), поэтому срабатывает датчик минимального давления РДмин. РДмин замыкает свой контакт, и логическая «1» подается на вход I7.

Т.о. когда на каждый из 4-х входов V001 («И») будет подана логическая «1», данный элемент свою очередь подаст логическую «1» на выход Q1.

Q1 замкнет свой контакт, через который двигатель электропривода подключится к сети. Компрессор начнет работать.

При увеличении давления воздуха в баллоне до максимального значения (давление настройки контактов манометра) срабатывает датчик максимального давления РДмакс, который замыкает свой контакт, и логическая «1» единица подается на вход I6.

Инвертор V013 («НЕ») при поступлении на его вход логической «1» с элемента I6 подаст на вход V001 («И») логический «0», а V001 подаст логический «0» на выход Q1. Компрессор выключается.

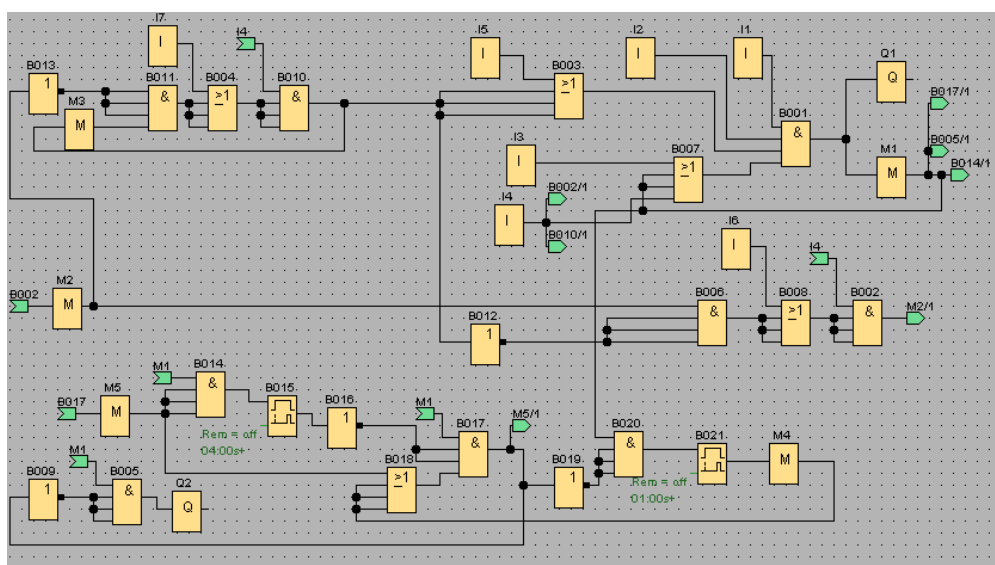


Рис. 3 Микропроцессорная схема управления компрессором.

3. Режим продувки компрессора.

Для продувания компрессора сжатым воздухом необходимо открыть электромагнитный клапан ЭМК на 20 секунд при включенном компрессоре.

В исходном положении на вход В005(«И») подается логическая «1» с инвертора В009(«НЕ»).

При включении компрессора логическая «1» с выхода В001(«И») поступает на вход В005(«И»).

Т.о. когда на каждый из 2-х входов В005(«И») будет подана логическая «1», данный элемент свою очередь подаст логическую «1» на выход Q2.

Q2 замкнет свой контакт, через который электромагнитный клапан подключается к сети питающего напряжения. Далее электромагнитный клапан открыт в течении 20 секунд. Идет продувка.

Одновременно при включении компрессора логическая «1» с выхода В001(«И») поступает на входы интервального реле времени ИРВ1(«В021») и элемента В014(«И»).

ИРВ1(«В021») через 20 секунд подаст логическую «1» на инвертор В009(«НЕ»). Инвертор В009(«НЕ») при поступлении на его вход логической «1» подаст логический «0» на вход В005(«И»), а В005(«И») подаст логический «0» на выход Q2.

Клапан ЭМК закрывается. Продувка завершена.

ИРВ1(«В021») через 20 секунд также через В014(«И») подаст логическую «1» на вход ИРВ2(«В015»). Через 20 минут после этого ИРВ2(«В015») подаст логическую «1» на инвертор В016(«НЕ»), который подаст логический «0» на вход В017(«И»), а В017(«И») подаст логический «0» на инвертор В009(«НЕ»). Инвертор В009(«НЕ») при поступлении на его вход логического «0», подаст логическую «1» на выход Q2.

Т.о. когда на каждый из 2-х входов В005(«И») будет подана логическая «1», данный элемент свою очередь снова подаст логическую «1» на выход Q2.

Далее электромагнитный клапан открывается и работает в течении 20 секунд. Идет продувка.

То через каждые 20 минут в течение 20 секунд компрессор продувается сжатым воздухом.

Вывод:

Замена релейно-контактной схемы логической имеет ряд преимуществ :

1. Позволяет экономить пространство в связи с упрощением схемы.
2. Сокращено количество ЗИП.
3. Легко обнаружить неисправность. Если неисправность в аппаратной части, нужно извлечь модуль памяти и вставить ЗИП. Если работа не восстановлена, значит, неисправности в программной части.
4. Неисправности на входных и выходных элементов проверяют наличием сопротивления.
5. Выводы схемы оснащены защитой от короткого замыкания и перегрузки.
6. Простота обслуживания.
7. Логические элементы потребляют меньше тока по сравнению с релейно-контактными аппаратами.

COMPRESSOR CONTROL PROGRAM

Pavlikov Sergey Alekseevich, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences.sciences'

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE "KSTU", Kaliningrad, Russia,
e-mail: sergeypavlikov@mail.ru

The purpose of this work is to replace the relay-contact circuit shown in Figure 1 with a logical one using the LOGO logic module software, which is used to build programmable automatic control devices.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ АВАРИЙНОСТИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ.

¹Романовский Виктор Викторович, д-р техн. наук, профессор кафедры электродвижения и автоматики судов

²Лебедев Анатолий Иванович, канд. техн. наук, доцент кафедры электродвижения и автоматики судов

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова», г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: ¹romanovskiyvv@gumrf.ru; ²lebedevai@gumrf.ru

Рассматривается использование технологии цифровых двойников, для снижения аварийности судовых высоковольтных трансформаторов систем электродвижения. Цель работы – определить основные критерии, классификацию и функции цифровых двойников судовых трансформаторов. Также описаны задачи, которые необходимо решить при разработке цифровых двойников и представлены наиболее перспективные инструменты для их создания.

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» увеличение грузопотока по Сереному морскому пути (СМП) должно достигнуть показателя 80 млн. тон да 2024 года [1].

Решение поставленной задачи неразрывно связано со строительством и внедрением судов ледового класса, необходимых, как для обслуживания морской инфраструктуры СМП, так и непосредственно для транспортировки грузов.

Распоряжением Правительства РФ от 21 декабря 2019 г. N 3120-р, утвержден план развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 г. В таблице № 1 представлена выдержка из Распоряжения касательно строительства судов для работы в полярных водах.

Таблица 1

№ п/п	Тип судна	Мощность МВт	Количество шт.	Срок реализации
1	Многофункциональное аварийно-спасательного судно	4	1	декабрь 2024 г.
2	Многофункциональное буксирно-спасательное судно проект MPSV12	3	1	декабрь 2024 г.
3	Противопожарное буксирно-спасательное судно Arc4 проект TG16	4	4	декабрь 2024 г.
4	Буксирно-спасательное судно Arc4 проект NE025	3	5	декабрь 2023 г.
5	Многофункциональное аварийно-спасательное судно мощностью	18	2	декабрь 2024 г.
6	Многофункциональное аварийно-спасательного судно	7	3	декабрь 2024 г.
7	Гидрографическое судно проект E35.Г Ice3	1	5	декабрь 2022 г.
8	Лоцмейстерское судно проект BLV03 Ice3	2	4	декабрь 2022 г.
9	Гидрографическое судно проект HSV05.1 Arc7	6	4	декабрь 2023 г.
10	Универсальный атомный ледокол проекта 22220	60	5	декабрь 2026 г.
11	Атомный ледокол проекта "Лидер"	120	3	декабрь 2032 г.

Помимо строительства судов для обслуживания инфраструктуры СМП, необходимо увеличение количества транспортных судов, способных работать в ледовых условиях, а также модернизация действующего флота. Учитывая недостаточную развитость инфраструктуры СМП, необходимо, чтобы суда, работающие в высоких широтах, имели повышенную надежность.

При работе судна в ледовых условиях, одним из наиболее нагруженных комплексов является пропульсивный. По этой причине, для судов ледового класса, наиболее перспективным является применение гребных электрических установок (ГЭУ) и систем электродвижения (СЭД) [3 – 7]. Стремление к улучшению технико-экономических показателей приводит к тому, что судовые электроэнергетические системы (СЭЭС) современных судов проектируются по принципу единой электроэнергетической системы (ЕЭЭС), которая обеспечивает электроэнергией СЭД и потребители собственных нужд [8].

Одним из основных элементов ЕЭЭС являются высоковольтные трансформаторы, без которых невозможно преобразование высокого напряжения основных источников электроэнергии до уровня, необходимого для питания СЭД или собственных нужд. Наиболее современными и мощными на сегодняшний день судами ледового класса являются универсальный атомный ледокол (УАЛ) пр. 22220 и танкера – газовозы типа Кристоф де Маржери. Структурные схемы ЕЭЭС УАЛ пр. 22220 и танкера типа Кристоф де Маржери представлены на Рис. 1 и Рис. 2, соответственно.

От надежной работы судовых высоковольтных трансформаторов напрямую зависит безопасность судоходства, судна и экипажа. Судовые высоковольтные трансформаторы в системах электродвижения ледоколов и судов ледового плавания работают в динамических режимах с резким изменением нагрузки, что в свою очередь предъявляет высокие требования к надежности трансформаторов и их систем защиты. В настоящее время для защиты высоковольтных судовых трансформаторов применяют микропроцессорные многофункциональные защитные устройства. Однако опыт эксплуатации показывает, что этих средств недостаточно для обеспечения безаварийной работы.

Таким образом, для решения задачи по повышению надежности судовых высоковольтных трансформаторов необходимо использовать новые подходы, подразумевающие глубокое внедрение цифровых технологий, которые способны моделировать в реальном времени поведение и состояние реальных электроэнергетических судовых элементов.

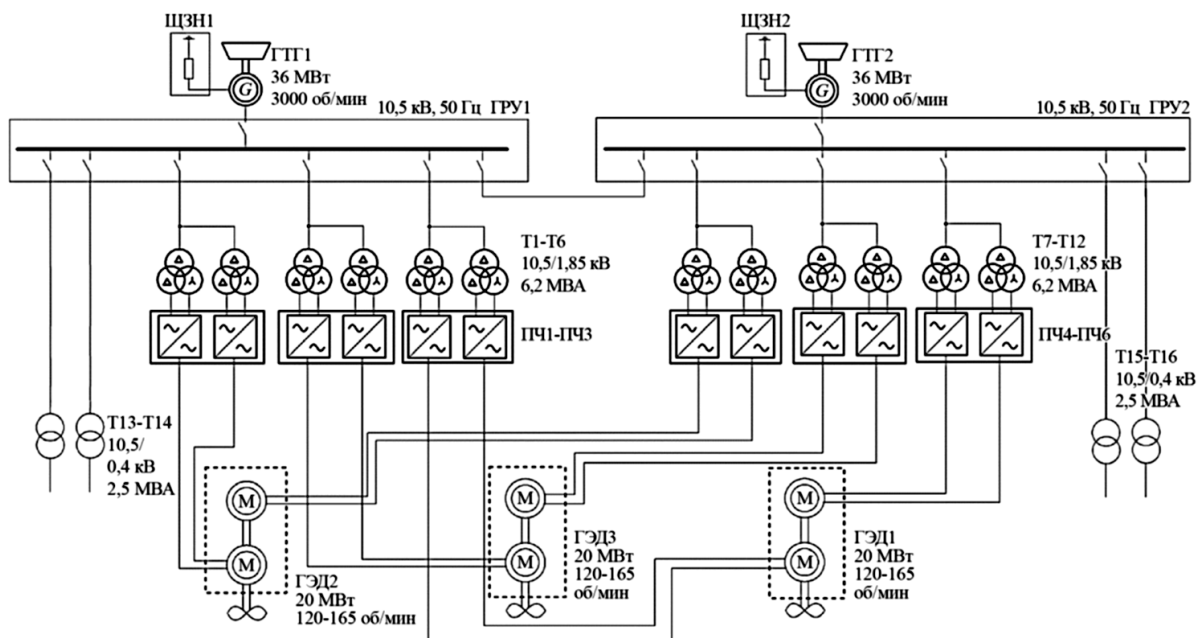


Рис. 1. Структурная схема ЕЭЭС универсального атомного ледокола пр. 22220

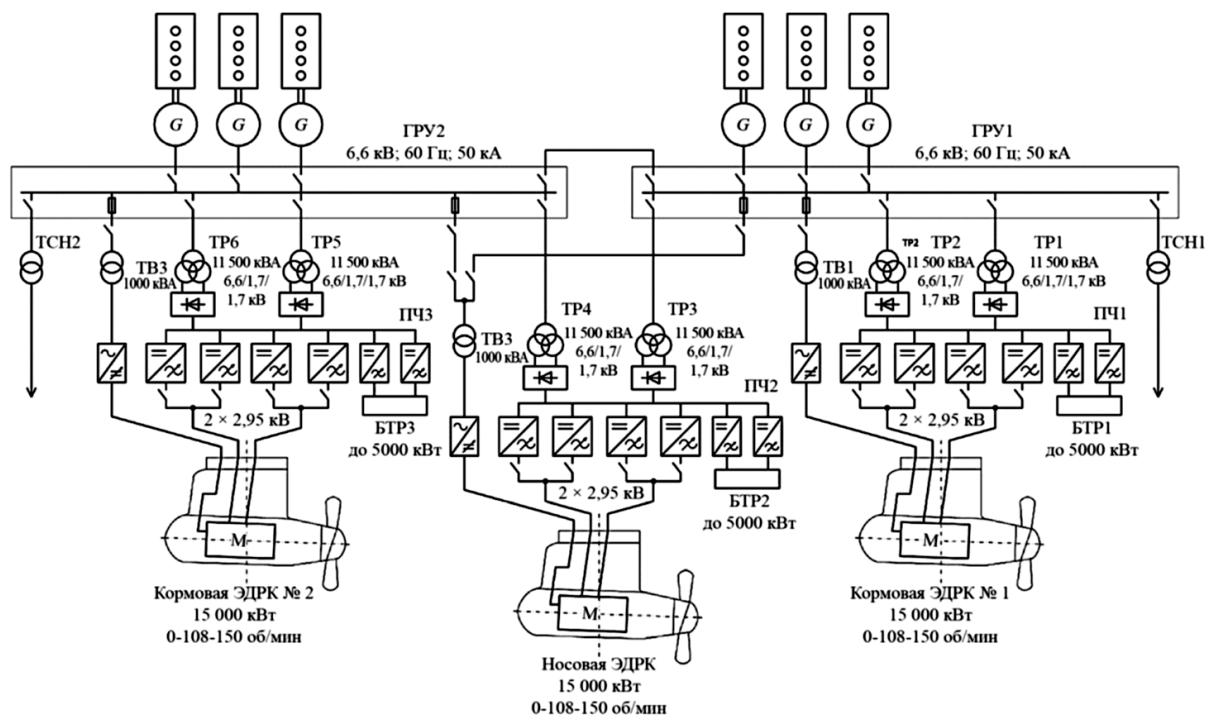


Рис. 2. Структурная схема ЕЭЭС танкера – газовоза типа *Кристоф де Маржеру*

Технология цифровых двойников – это одно из наиболее динамично развивающихся направлений, позволяющих повысить надежность судового электрооборудования.

Под цифровым двойником принято понимать виртуальный образ, который позволяет имитировать работу реального энергетического объекта в различных эксплуатационных режимах. Основные термины и понятия, а также конкретные реализации ЦД промышленного энергетического оборудования представлены в работах [9 - 13].

ЦД классифицируют по трем категориям:

- Цифровые двойники-прототипы;
- Цифровые двойники-экземпляры;
- Агрегатированные цифровые двойники.

Цифровые двойники-прототипы представляют наибольший интерес при создании энергетических объектов так как для их разработки используется информация, необходимая для проектирования оборудования. ЦД этого типа не взаимодействуют с реальным объектом, информация от них соответствует не эксплуатационным режимам, а условиям испытаний.

Цифровые двойники-экземпляры получают информацию от реальных объектов на протяжении всего эксплуатационного цикла и позволяют использовать данные о сервисном обслуживании и результаты измерений, полученные от систем измерения. Таким образом, цифровые двойники-экземпляры можно сравнить с системами автоматического мониторинга и диагностики, которые осуществляют сбор, хранение и обработку информации по работе реального объекта.

Для целей снижения аварийности судовых высоковольтных трансформаторов, наибольший интерес представляют агрегатированные цифровые двойники, которые подразумевают совокупность двух подсистем, одна из которых включает цифровой двойник-прототип, а другая цифровой двойник-экземпляр. Агрегатированные цифровые двойники судовых высоковольтных трансформаторов используют информацию от судовых систем мониторинга и SCADA систем, работающих в режиме реального времени, которая в дальнейшем используется для корректировки и адаптации математических моделей. На Рис. 3. Представлена упрощенная структурная схема цифрового двойника судового высоковольтного трансформатора.

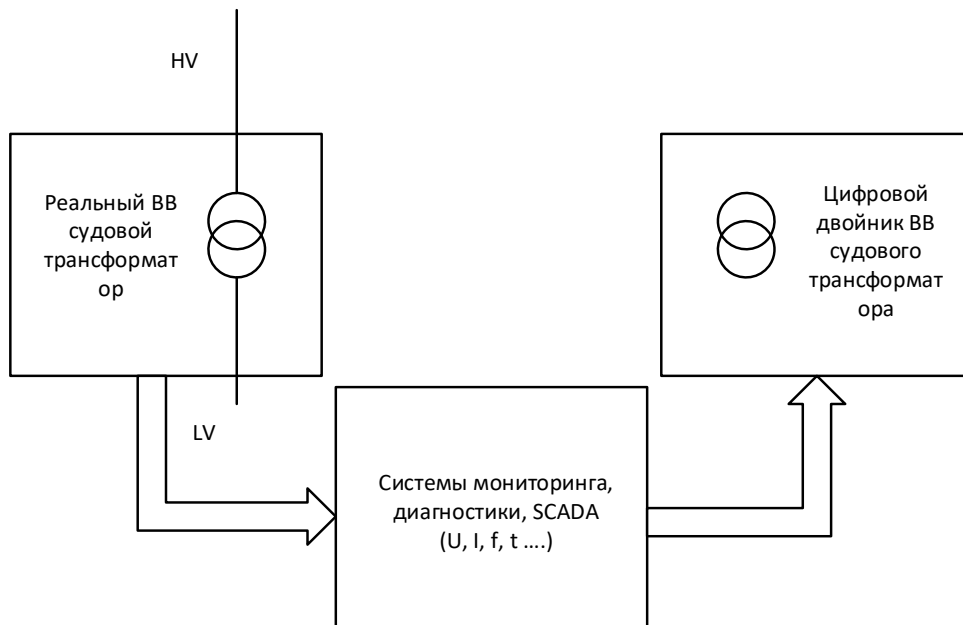


Рис. 4. Упрощенная структурная схема цифрового двойника судового высоковольтного трансформатора

Для создания цифровых двойников трансформаторов можно использовать средства компьютерной математики (СКМ), таких как MatLab Simulink SimPowerSystem или SciLab Xcos, совместно с САЕ системой ANSYS или САЕ-системы COMSOL Multiphysics [14 - 15].

ЦД позволяют получать и прогнозировать информацию по состоянию трансформатора (температура, деформация и проч. См. Рис. 5,6.).

При создании агрегатированного цифрового двойника необходимо обеспечить достаточное быстродействие, которое позволит принимать правильные решения по допустимым режимам работы судовых высоковольтных трансформаторов, в зависимости от их фактического состояния.

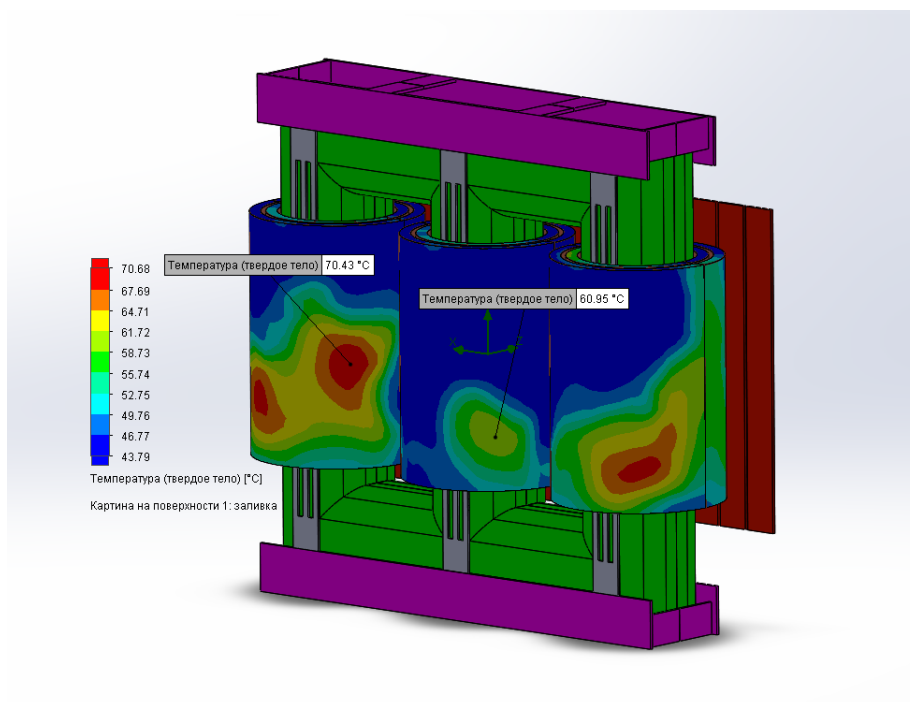


Рис. 5. Распределение температуры внутри трансформатора, полученное при помощи математического моделирования

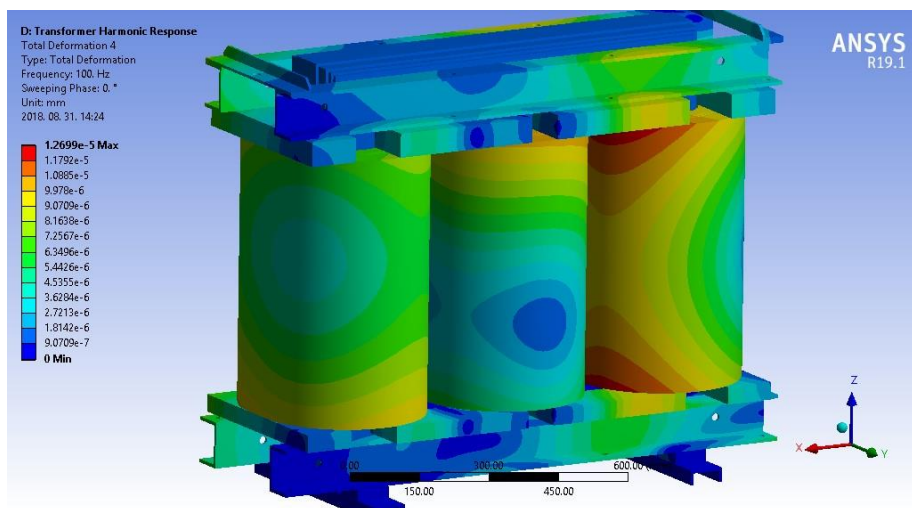


Рис. 6. Распределение величины деформации внутри трансформатора, полученное при помощи математического моделирования

При разработке ЦД судового высоковольтного трансформатора необходимо решить следующие задачи:

- разработать структуру ЦД;
- выбрать программные и аппаратные средства для реализации сбора, обработки, передачи и визуализации информации;
- произвести разработку математических и экспертных моделей ЦД;
- произвести сбор данных о трансформаторе, в том числе от завода-производителя;
- разработать программно-аппаратный комплекс, позволяющий собирать и хранить информацию о условиях работы трансформатора, также корректировать математическую и экспертную модели;
- разработать методики тестирования ЦД.

На первых этапах внедрение технологии цифровых двойников может показаться избыточным и весьма затратным мероприятием, однако стоит отметить, что внедрение ЦД судовых высоковольтных трансформаторов позволит осуществлять следующие функции:

- сбор, хранение, обработку и визуализацию информации о текущем состоянии и режиме работы судового трансформатора;
- сравнение и анализ показателей работы трансформатора с ранее полученными при схожих режимах работы;
- анализ полученных результатов с целью выявления нештатных режимов работы или неисправностей;
- определение причин возникновения неисправностей или нештатных режимов;
- прогнозирование изменений технического состояния трансформатора в процессе эксплуатации;
- определение ресурса трансформатора;
- корректировка мероприятий по планово-техническим осмотрам и ремонтам в соответствии с актуальным состоянием трансформатора.

Заключение

Использование стандартных микропроцессорных устройств релейной защиты судовых высоковольтных трансформаторов систем электродвижения судов не позволяет в полной мере учитывать состояние оборудования, окружающей среды и режимов работы. Поэтому для снижения аварийности судовых высоковольтных трансформаторов предложено использовать технологию цифровых двойников. Для создания ЦД судовых высоковольтных трансформаторов необходимо найти удовлетворительные решения задач, описанных в данной статье. Эти решения должны обеспечить,

как быстроедействие, так и достаточную информативность моделируемых процессов. На сегодняшний день наиболее перспективными инструментами для создания ЦД являются СКМ MatLab Simulink SimPowerSystem в связке с САЕ системами.

Внедрение цифровых двойников высоковольтных трансформаторов систем электродвижения судов ледового плавания позволит получать актуальную информацию о состоянии и режимах работы оборудования, а также прогнозировать изменение его характеристик и свойств, что в свою очередь обеспечит снижение аварийности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 7 мая 2018 г. № 204 "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года". – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71837200/>.

2. Распоряжение Правительства РФ от 21 декабря 2019 г. N 3120-р Об утверждении прилагаемого плана развития инфраструктуры Северного морского пути на период до 2035 г. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73261725/>

3. Романовский, В.В. Перспективы развития систем электродвижения / В.В. Романовский, Б. В. Никифоров, А.М. Макаров // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2018. – Т. 10. – № 3. – С. 586-596. – DOI 10.21821/2309-5180-2018-10-3-586-596.

4. Романовский, В.В. Электродвижение на атомных ледоколах / В.В. Романовский, Б.В. Никифоров, А.М. Макаров // Судостроение. – 2018. – № 6(841). – С. 37-40.

5. Романовский, В. В. Современные системы электродвижения на морском транспорте / В.В. Романовский, Б. В. Никифоров, А. М. Макаров // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2018. – № 12. – С. 70-75.

6. Гагаринов, И. В. Структуры систем электродвижения большой мощности / И. В. Гагаринов // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2021. – № 1(395). – С. 119-131. – DOI 10.24937/2542-2324-2021-1-395-119-131.

7. Гельвер, Ф.А. Гребные электрические установки судов большой мощности / Ф.А. Гельвер, И. В. Белоусов, В.Ф. Самосейко // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2019. – № 30. – С. 7-27.

8. Судовые единые электроэнергетические системы / А.П. Сеньков, Б.Ф. Дмитриев, А.Н. Калмыков, Л.Н. Токарев // Электротехника. – 2017. – № 5. – С. 8-13.

9. Digital twins and simulations. ABB Review, 2019, no. 02, pp. 42-46.

10. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison / IEEE Access, 15 Jan. 2018. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8258937>.

11. Дарьян, Л.А. Цифровые двойники электроэнергетического оборудования - основные принципы и технические требования (УДК 621.314:004.942) / Л.А. Дарьян, Л.Н. Конторович // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2020. – № 5(62). – С. 48-57.

12. Дарьян, Л.А. Цифровые двойники электроэнергетического оборудования. Образы и экспертизы. Часть 1 / Л.А. Дарьян, Л. Н. Конторович // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 1(64). – С. 124-129.

13. Дарьян, Л.А. Цифровые двойники электроэнергетического оборудования. Образы и экспертизы. Часть 2 / Л.А. Дарьян, Л.Н. Конторович // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2021. – № 2(65). – С. 32-39.

14. Цифровой двойник (Digital Twin) / CADFEM. <https://www.cadfem-cis.ru/service/digital-twin/>

15. COMSOL / К вопросу о разработке мер по снижению аварийности трансформаторных подстанций на основе технологии цифровых двойников / К. В. Семенова, А. И. Тихонов, А. В. Подобный, А. А. Каржевин // Пожарная и аварийная безопасность. – 2019. – № 3(14). – С. 9-18.

APPLICATION OF DIGITAL TWINS TECHNOLOGY TO REDUCE THE EMERGENCY OF HIGH VOLTAGE TRANSFORMERS OF POWER SYSTEMS OF ICE NAVIGATION VESSELS

¹Romanovkiy Victor Victorovich, Doctor of science, professor of Electrical propulsion and ship automation department

²Lebedev Anatoly Ivanovich, Candidate of science, associated professor of Electrical propulsion and ship automation department

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland shipping, St-Petersburg, Russia, e-mail: ¹romanovskiyvv@gumrf.ru; ²lebedevai@gumrf.ru

In the article represent review of the digital twin technologies application for reduce the emergency of ship high-voltage transformers of electric propulsion systems. The purpose of the work is to determine the main criteria, classification and functions of ship transformers digital twins. The tasks that need to be solved when developing digital twins are also described and the most promising tools for their creation are presented.

УДК 629.12.03

АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ И ВАЛОГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК

Русаков Сергей Михайлович, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электрооборудования и автоматики судов БГАРФ

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: sm_rusakov@mail.ru

Цель работы заключается в определении причин автоколебательных процессов в системах автоматического регулирования частоты вращения (САРЧ) судовых дизелей, за счет которых снижается их качество. Незатухающие колебания частоты вращения на стационарных режимах работы приводят к перерасходу топлива и смазочного масла, снижают качество вырабатываемой электроэнергии при работе главного двигателя (ГД) на валогенераторную установку (ВГУ). Новизна работы состоит в системном анализе причин автоколебаний. Основные выводы сводятся к следующему: для устранения автоколебаний, вызванных повышением коэффициента усиления разомкнутой САРЧ в зависимости от нагрузки, необходимо использовать регулятор частоты вращения (РЧВ) с изменяющимися в зависимости от нагрузки настроечными параметрами. Для устранения автоколебаний, возникающих вследствие нелинейности характеристик механических элементов САРЧ, необходимо своевременно в процессе технического обслуживания САРЧ обнаруживать и устранять повышенный износ и трение в механических узлах САРЧ.

Судовые специалисты часто сталкиваются с проблемой возникновения автоколебаний частоты вращения (частоты тока в судовой электроэнергетической системе) в САРЧ среднеоборотных двигателей (СОД), работающих на валогенераторную установку (ВГУ) и дизель-генераторов с амплитудой значительно превышающей допустимые пределы. Устранить или снизить амплитуду автоколебаний стандартными способами (повышением статизма регулирования за счет увеличения

жесткой обратной связи, изменением времени издрома гидравлических регуляторов частоты вращения (РЧВ), уменьшением неравномерности распределения нагрузки по цилиндрам двигателя) зачастую не получается. Цель настоящей работы заключается в анализе причин, вызывающих это явление и в выработке рекомендаций по снижению амплитуды автоколебаний до допустимых пределов.

Работа реальных САРЧ всегда сопровождается автоколебательными процессами. Причина автоколебаний в исправной и правильно настроенной САРЧ заключается в дискретном характере рабочего процесса в приводном дизельном двигателе и неравномерности крутящего момента и ЧВ двигателя по углу поворота коленчатого вала. В наибольшей степени такие автоколебания проявляются в малооборотных судовых двигателях с небольшим числом цилиндров.

Амплитуда автоколебаний зависит от нагрузки двигателя: с уменьшением нагрузки амплитуда увеличивается. Нагрузка играет роль демпфирующего автоколебания фактора.

Неравномерность распределения нагрузки по цилиндрам двигателя также влияет на амплитуду автоколебаний частоты вращения вала двигателя. Неравномерность распределения нагрузки увеличивается с уменьшением нагрузки.

Величина амплитуды автоколебаний является одним из показателей качества САРЧ. В ГОСТ 10511 для этого параметра используется термин нестабильность частоты вращения, определяемая как размах колебаний относительной частоты вращения дизеля при установившемся режиме.

В зависимости от класса точности САРЧ нестабильность частоты вращения должна находиться в следующих пределах: не более 0,8% и 3,0% при нагрузке до 25% для САРЧ 1-го и 4-го классов точности. При относительной нагрузке от 25 до 100% нестабильность частоты вращения не должна превышать 0,6% и 2,0% для САРЧ 1-го и 4-го классов точности.

Амплитуда автоколебаний является важным диагностическим параметром, позволяющим оценивать техническое состояние САРЧ. Появляющиеся износы и сухое трение в узлах сопряжения РЧВ или исполнительного механизма электронного РЧВ с рейкой ТНВД приводят к увеличению амплитуды автоколебаний в САРЧ.

Незатухающие автоколебания с недопустимо большой амплитудой также возникают при выходе из строя демфера крутильных колебаний ЧВ двигателей в гидравлических регуляторах.

В среднеоборотных главных двигателях, работающих на ВРШ в режиме постоянной частоты вращения и подключенных к ВГУ, автоколебания ЧВ при исправных двигателях и РЧВ, отсутствии износов и сухого трения в узлах сопряжения РЧВ или исполнительного механизма электронного РЧВ с рейкой ТНВД наблюдаются чаще всего у одного из двух СОД, работающих параллельно, при снижении потребляемой мощности (уменьшении шага ВРШ).

Объяснить такое поведение САРЧ можно, используя методологию теории автоматического управления. В соответствии с теорией автоколебания в замкнутом контуре САРЧ возникают при увеличении коэффициента усиления разомкнутой САРЧ до определенного граничного значения и наличии фазового сдвига за счет инерционных свойств объекта управления и задержки передачи управляющего воздействия в замкнутом контуре САРЧ. Инерционные свойства двигателя как объекта управления характеризуются наличием двух основных аккумуляторов механической энергии. Первый аккумулятор: вращающийся коленчатый вал двигателя с присоединенными массами поршней и кривошипно-шатунного механизма, вращающимися массами валопровода и винта, второй - турбокомпрессор. По своим свойствам аккумуляторы эквивалентны инерционному звену первого порядка.

В общем виде уравнения динамики двигателя с турбонаддувом (динамической системы, состоящей из двигателя и турбокомпрессора), работающего на винт, имеют вид [1]:

$$T_a \frac{d\varphi}{dt} + z\varphi = k_n \mu_{об} - k_c \lambda + k_{pd} \varphi_p$$

$$T_k \frac{d\varphi_k}{dt} + z_k \varphi_k = k_{nk} \mu_{об} + k_{\omega k} \varphi - k_{pk} \varphi_p$$

где T_a , T_k – постоянные времени аккумуляторов системы двигатель-винт и турбокомпрессора;
 φ , φ_k – относительные изменения частоты вращения двигателя и турбокомпрессора;
 z , z_k – коэффициенты самовыравнивания двигателя и турбокомпрессора;

k_h, k_c , - относительные угловые коэффициенты статических характеристик регуляторного и нагрузочного воздействий;

$k_{pд}$ - относительный угловой коэффициент статической характеристики крутящего момента двигателя от давления наддува при постоянных значениях нагрузки и частоты вращения;

$\mu_{об}, \lambda$ – относительные значения регуляторного и нагрузочного воздействий;

φ_p – относительное изменение давления наддува;

$k_{hk}, k_{\omega k}, k_{pk}$ – относительные угловые коэффициенты статических характеристик турбокомпрессора по регуляторному воздействию, по частоте вращения двигателя и по давлению наддува.

Постоянные времени и коэффициенты дифференциальных уравнений зависят от режима работы двигателя. Определяющее влияние на устойчивость работы двигателя и САРЧ оказывают коэффициенты самовыравнивания двигателя z и турбокомпрессора z_k . Они вычисляются следующим образом:

$$z = \left(\frac{\partial M_{сопр}}{\partial \omega_d} \right) \frac{\omega_d^{НОМ}}{M_d^{НОМ}} - \left(\frac{\partial M_d}{\partial \omega_d} \right) \frac{\omega_d^{НОМ}}{M_d^{НОМ}};$$

$$z_k = \left(\frac{\partial M_k}{\partial \omega_k} \right) \frac{\omega_k^{НОМ}}{M_T^{НОМ}} - \left(\frac{\partial M_T}{\partial \omega_k} \right) \frac{\omega_k^{НОМ}}{M_T^{НОМ}},$$

где $M_{сопр}, M_d^{НОМ}, M_d$ – момент сопротивления на валу двигателя со стороны винта, номинальное значение момента, развиваемого двигателем и момент, развиваемый двигателем;

$\omega_d, \omega_d^{НОМ}$ – частота вращения вала двигателя и ее номинальное значение;

$M_k, M_T^{НОМ}, M_T$ – момент сопротивления на валу компрессора, номинальное значение момента на валу турбины и момент на валу турбины;

$\omega_k, \omega_k^{НОМ}$ – частота вращения компрессора и ее номинальное значение.

Величина z зависит от нагрузки двигателя. При малых нагрузках z уменьшается, что можно определить, анализируя взаимное расположение характеристик подвода и отвода энергии двигателя (рис.1). В режиме постоянной частоты вращения при нагрузке в виде ВРШ главный двигатель работает по регуляторной характеристике (линия DE). В зависимости от угла разворота лопастей ВРШ на рис.1 представлены характеристики подвода ($M_d^{(1)}, M_d^{(2)}, M_d^{(3)}$) и отвода энергии ($M_{сопр}^{(1)}, M_{сопр}^{(2)}, M_{сопр}^{(3)}$). Точки А, В, С пересечения характеристик соответствуют установившимся значениям частоты вращения и располагаются на регуляторной характеристике DE. Производные момента, развиваемого двигателем и момента сопротивления, оцениваемые по тангенсам углов наклона, максимальны в точке А и минимальны в точке С, причем производные характеристик подвода M_d по частоте вращения имеют отрицательный знак.

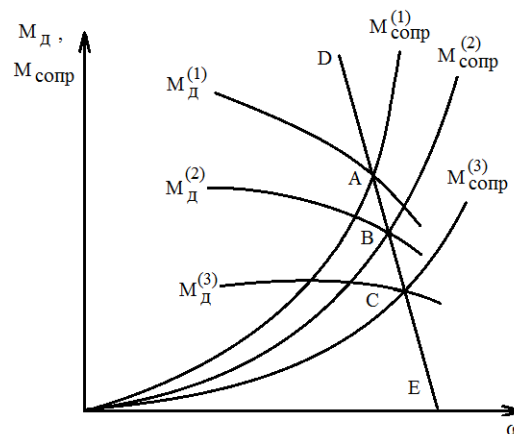


Рис. 1. Статические характеристики подвода и отвода энергии двигателя и САРЧ

Таким образом, коэффициенты усиления двигателя по регуляторному и нагрузочному воздействиям будут максимальны в точке С, где угол разворота лопастей ВРШ минимальный по сравнению с точками А и В.

Регулятор частоты вращения при параллельной работе двигателей настраивают на работу по пропорциональному (пропорционально-дифференциальному) закону регулирования. Коэффициент пропорциональности (статизм регулирования) РЧВ устанавливается при работе на номинальном режиме, исходя из условий допустимого статического отклонения частоты тока (+/- 5%) при работе двигателей на ВГУ. При снижении нагрузки, за счет существенного увеличения у некоторых двигателей коэффициента усиления по регуляторному воздействию, в замкнутом контуре САРЧ возникают незатухающие колебания.

Если САРЧ теряет устойчивость и РЧВ, за счет сдвига по фазе до $-\pi$, увеличивает подачу топлива при приращении ЧВ, то растет крутизна спада характеристики регуляторного воздействия и роста характеристики нагрузочного воздействия двигателя. Это приводит к увеличению коэффициента самовыравнивания, снижению коэффициента усиления двигателя по регуляторному воздействию, снижению коэффициента усиления разомкнутой САРЧ ниже граничного значения. Приращение ЧВ прекращается, начинается снижение ЧВ. САРЧ возвращается в исходную точку.

Аналогичные процессы происходят в САРЧ при уменьшении ЧВ, когда РЧВ за счет сдвига по фазе до $-\pi$, уменьшает подачу топлива и частота вращения уменьшается. При этом крутизна спада регуляторной и роста нагрузочной характеристик уменьшается, коэффициент самовыравнивания уменьшается, растет коэффициент усиления двигателя по регуляторному воздействию и коэффициент усиления разомкнутой САР. В результате уменьшение ЧВ прекращается, начинается увеличение ЧВ и возвращение САРЧ в исходную точку.

Таким образом в САРЧ стабилизируется амплитуда автоколебаний за счет нелинейных характеристик дизельного двигателя.

Автоколебания возникают не у всех среднеоборотных двигателей (СОД), работающих на ВРШ. В соответствии с критерием Найквиста САРЧ находится на границе устойчивости при следующих условиях:

$$\begin{aligned}\varphi(\omega) &= -\pi; \\ A(\omega) &= 1,\end{aligned}$$

где $\varphi(\omega)$ – фазочастотная характеристика разомкнутой САРЧ,

$A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) разомкнутой САРЧ.

Для возникновения автоколебаний необходимо наличие фазового сдвига $\varphi(\omega) = -\pi$ и значение АЧХ равно 1 или выше на частоте, когда $\varphi(\omega) = -\pi$. В САРЧ с нелинейным объектом (судовым дизелем), как было показано выше, в отличие от линейной не происходит потери устойчивости и амплитуда автоколебаний стабилизируется.

Учитывая, что коэффициент усиления разомкнутой САРЧ по регуляторному воздействию $A(\omega)$ в меньшей степени подвержен изменению в процессе эксплуатации двигателя по сравнению с фазовым сдвигом $\varphi(\omega)$, основная причина возникновения автоколебаний в этом случае - появление дополнительного запаздывания в контуре передачи регуляторного воздействия в САРЧ.

Причины появления дополнительного запаздывания: неправильная настройка рабочего процесса в двигателе (увеличение времени задержки преобразования изменения подачи топлива в изменение крутящего момента в судовых дизелях с турбонаддувом), увеличение инерционности работы гидравлических РЧВ или исполнительных механизмов в электронных регуляторах.

Для исключения автоколебаний в судовых САРЧ по указанным выше причинам, необходимо использовать РЧВ с автоматически уменьшающимся коэффициентом пропорциональности при появлении в САРЧ автоколебаний.

К возникновению автоколебаний в судовых САРЧ приводят также износы и сухое трение в узлах сопряжения РЧВ или исполнительного механизма электронного РЧВ с рейкой ТНВД. Статическая характеристика такого элемента САРЧ представлена на рис.2. В характеристике скомбинированы износ и сухое трение. Величина зоны нечувствительности определяется величиной износа. Резкий переход из одного состояния в другое обусловлен сухим трением.

Структурная схема САРЧ с нелинейным элементом для моделирования влияния износа и сухого трения на процесс регулирования ЧВ представлена на рис.3. На схеме обозначены:

Set_Point – блок задания частоты вращения;

PD_Gov – пропорционально-дифференциальный РЧВ;

Adj_PD_Gov – блок настроечных параметров РЧВ;

PID_Gov_Act – пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор положения топливной рейки двигателя;

Adj_PID_Gov – Act – блок настроечных параметров регулятора положения топливной рейки двигателя;

Amp – усилитель;

Actuator – электрический исполнительный механизм (электромагнитного типа);

Eng_TC – приводной двигатель с турбонаддувом;

Nonlinear block – нелинейный блок для моделирования звеньев САРЧ с износом и сухим трением.

Отличительные особенности модели приведены в работе [2].

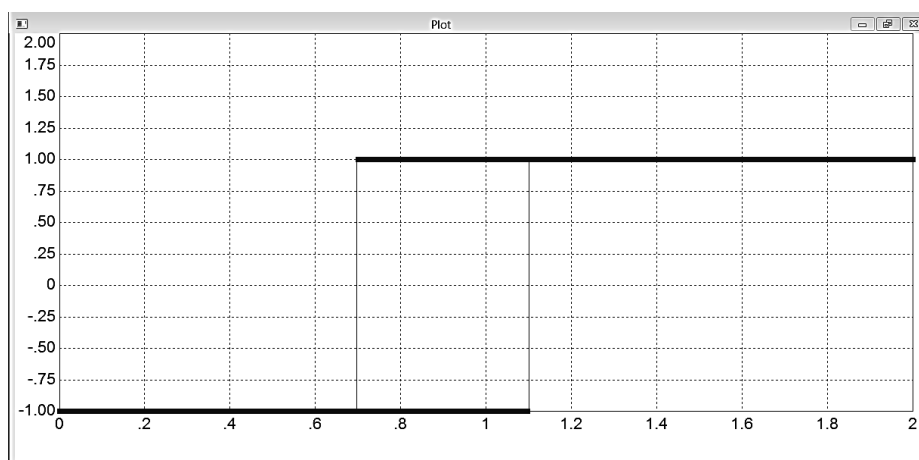


Рис. 2. Статическая характеристика нелинейного звена САРЧ

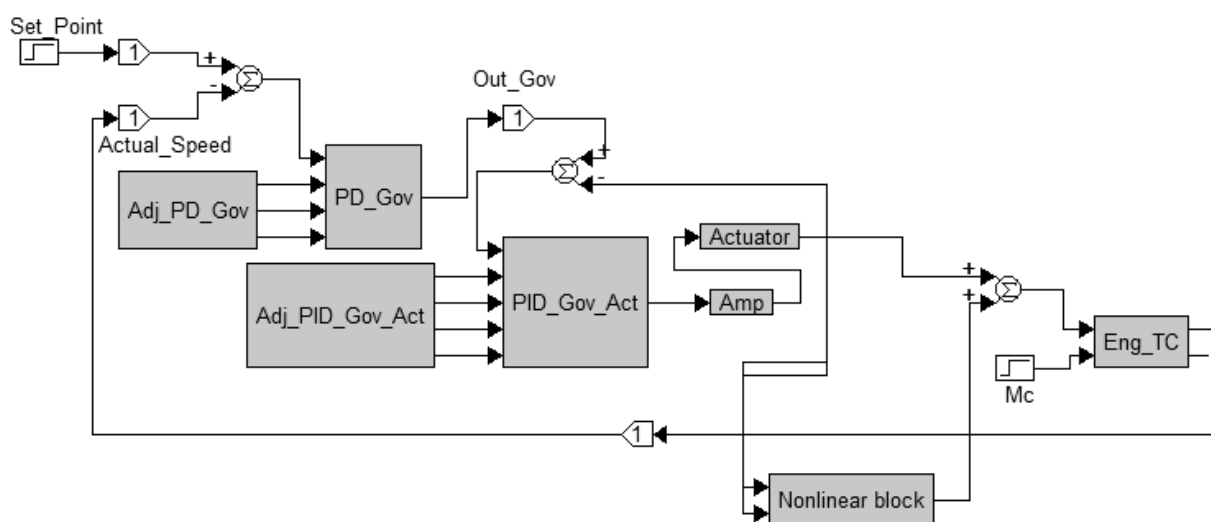


Рис. 3. Структурная схема САРЧ с нелинейным элементом

Переходные характеристики САРЧ, в которых в установившемся режиме работы наблюдаются незатухающие автоколебания представлены на рис. 4 и рис. 5.

Устойчивость автоколебаний зависит от вида статической характеристики нелинейного звена, динамических свойств двигателя и РЧВ. В анализируемой по модели САРЧ нелинейное звено имеет характеристику с ограничением.

Амплитуда автоколебаний определяется динамическими характеристиками двигателя с турбонаддувом, величиной износа и силы трения в сопряжении.

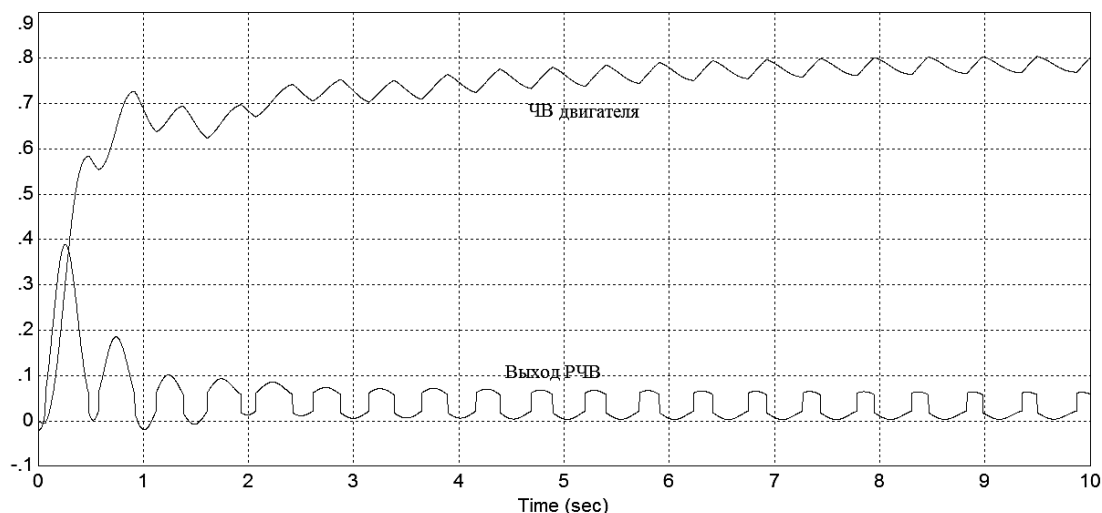


Рис. 4. Переходный процесс в САРЧ с автоколебаниями в установившемся режиме (воздействие по заданию ЧВ)

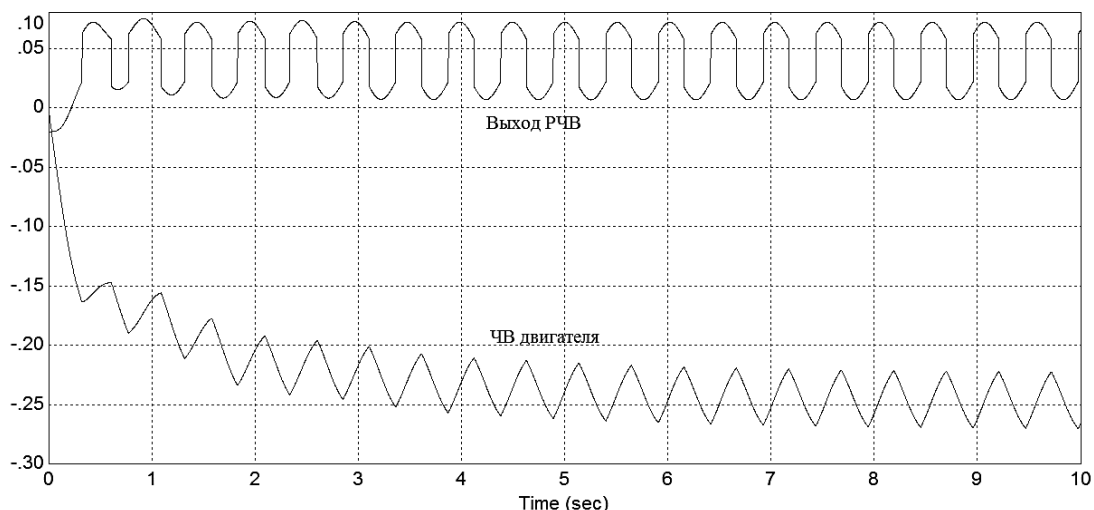


Рис. 5. Переходный процесс в САРЧ с автоколебаниями в установившемся режиме (воздействие по нагрузке)

Таким образом, рекомендации по снижению автоколебаний в САРЧ приводных двигателей судовых синхронных генераторов (СГ) до допустимых значений сводятся к следующему:

1. Повышение качества технического обслуживания приводных двигателей (СГ) и их САРЧ. Своевременное обнаружение, распознавание и устранение отказов РЧВ, повышенных износов и трения в механических узлах САРЧ;
2. Использование РЧВ с автоматически уменьшающимся коэффициентом пропорциональности при появлении автоколебаний ЧВ с амплитудой, превышающей допустимые значения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исаков Л. И. Комплексная автоматизация судовых дизельных и газотурбинных установок / Л. И. Исаков, Л. И. Кутьин. – Л.: Судостроение, 1984. – 367 с.
2. Русаков С.М. Моделирование системы двухимпульсного автоматического регулирования частоты вращения судового дизель-генератора / материалы VII Международного Балтийского морского форума 7-12 октября 2019 года [Электронный ресурс]: В 6 томах. Т. 2. «Морская техника и

AUTO-OSCILLATING PROCESSES IN SYSTEMS AUTOMATIC SPEED CONTROL MARINE DIESEL GENERATOR AND SHAFT GENERATOR PLANTS

Rusakov Sergey Mihaylovich, cand. tehn. sciences, Head of the Department EAS

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,
Kaliningrad, Russia, e-mail: sm_rusakov@mail.ru

The purpose of the work is to determine the causes of self-oscillating processes in automatic speed control systems (ARC) of marine diesel engines, due to which their quality decreases. Continuous fluctuations in the rotational speed in stationary modes of operation lead to over-consumption of fuel and lubricating oil, reduce the quality of the generated electricity when the main engine (MG) is operating on a shaft-driven generator unit (SGU). The novelty of the work consists in the system analysis of the causes of self-oscillations. To eliminate the self-oscillations arising from the nonlinearity of the characteristics of the mechanical elements of the ARCH, it is necessary to detect and eliminate the increased wear and friction in the mechanical units of the ARCH in a timely manner during the maintenance of the ARCH.

УДК 621.311.001

СИНХРОННО-ВЕКТОРНАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ И ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

¹Чижма Сергей Николаевич, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры электрооборудования и автоматики судов

²Стригин Игорь Витальевич, аспирант института физико-математических наук информационных технологий

³Молчанов Сергей Васильевич, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент института физико-математических наук и информационных технологий

¹«Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹kaf_eas@bgarf.ru

²ФГАОУ Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия, e-mail: ^{2,3}webmail@kantiana.ru

Целью работы является исследование и разработка синхронно-векторной системы определения режимов и параметров систем электроснабжения. Объектом исследования являются линии электроснабжения и электрические подстанции. Предметом исследования является разработка системы мониторинга параметров линий и режимов. В практической части работы показаны инструменты беспроводной связи и приложения для обмена данными между сервером и системой мониторинга схем и параметров линий электропередач.

Появление систем синхронизации на базе спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС [1-6] позволило создавать комплексы мониторинга параметров и режимов различных систем электроснабжения, в том числе судовых и береговых систем, осуществляющих электроснабжение от двух и более

источников электроэнергии. Такими источниками могут являться электрические подстанции или параллельно работающие судовые генераторы.

При анализе проблемы были поставлены следующие задачи:

- разработка методов оперативного определения схем замещений линий электропередач;
- определение метода поиска уравнивающих токов;
- динамическое моделирование режимов и системы передачи электроэнергии;
- выбор оборудования, позволяющие снимать и передавать показания электроэнергии в реальном времени;
- синхронизация времени измерений распределенных объектов;
- обеспечение телеметрии для мониторинга параметров режимов и состояний объектов.

На рис. 1 и 2 показаны схема приема сигналов точного времени на двух смежных подстанциях, питающих одну линию передачи, временные и фазовые соотношения сигналов на подстанциях [7-8]. Зная разность фаз сигналов на концах линий электропередачи, можно оперативно определять режимы работы энергосистемы и управлять ими.

Электрические подстанции должны быть соединены в единую систему передачи данных, информация от них должна передаваться в единый центр сбора и обработки данных по линии связи. В большинстве существующих распределенных энергетических комплексов реализована синхронизация информационных систем от единого источника с точностью 0,1 с. При такой точности синхронизации нет возможности проводить синхронно-фазовые измерения и оперативно определять режимы системы электроснабжения.

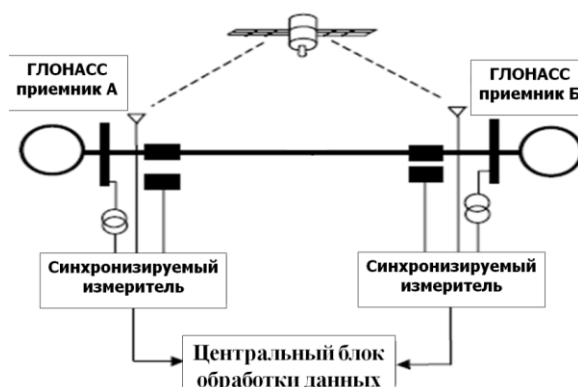


Рис. 1. Прием сигналов точного времени на электрических подстанциях

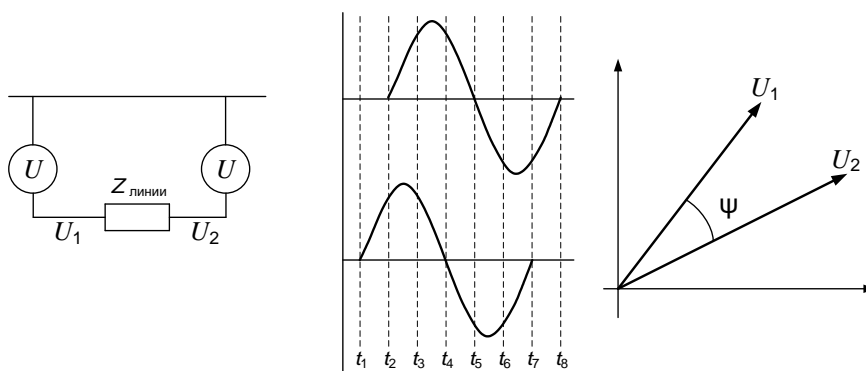


Рис. 2. Временные и фазовые соотношения сигналов на подстанциях

Внедрение систем синхронизации времени в устройствах контроля распределенных энергосетей на базе ГЛОНАСС дает возможность осуществления синхронизации приборов с точностью выше 1 мкс.

Развитие описанной системы позволит анализировать систему электроснабжения как единое целое в режиме реального времени, сравнивать текущие электрические режимы на смежных подстанциях. Это даст возможность определять параметры электрических режимов и параметры схем

замещения сети электроснабжения и вырабатывать управляющие воздействия на генераторы, компенсаторы реактивной мощности, фильтрокомпенсирующие установки и другие устройства.

В настоящее время фазо-синхронные устройства является прогрессивным методом измерений, который позволяет производить высокоточные и стабильные по качеству измерения, обеспечивая минимальную задержку в измеряемых характеристиках, повышая надежность объекта в целом, а также получая возможности, недоступные для других методов [9].

Структурная схема системы для определения параметров энергосистемы представлена на рис. 3. На концах линии устанавливаются измерители токов и напряжений ТПА-02 (рис. 4) [10], которые синхронизируются от спутников с помощью модулей синхронизации ИСС-1.3 (рис. 5) [11].

Маркированные по времени значения напряжений и токов передаются на сервер, где вычисляются параметры энергосистемы и режимные параметры.

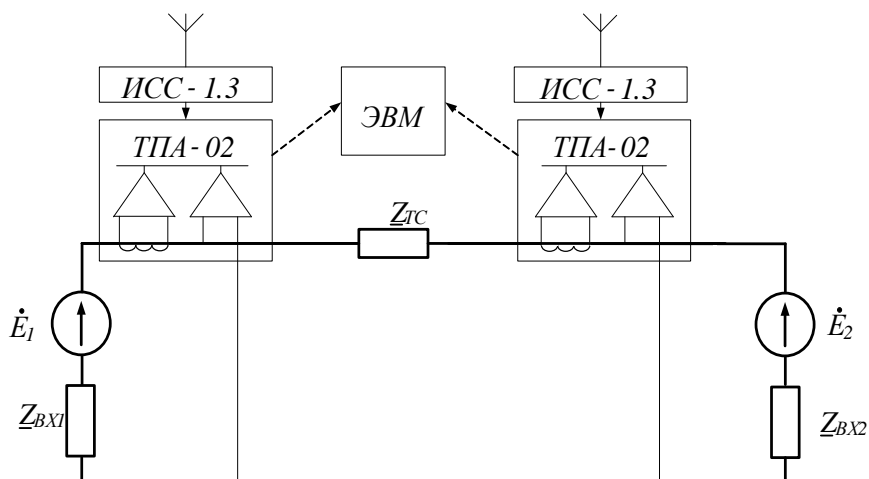


Рис. 3. Структурная схема системы для определения параметров и режимов систем электроснабжения

ТПА-02 предназначен для синхронизированных векторных измерений параметров электрического режима в составе систем мониторинга переходных режимов (СМПР) – комплекса технических и программных средств, обеспечивающий измерение, сбор и передачу в диспетчерские центры СВИ параметров электроэнергетического режима.

ТПА-02 выполняет измерение мгновенных значений и фазовых углов напряжений токов и напряжений, вычисление частоты линии, синхронизацию измерений с помощью сигналов единого точного времени и передачу данных в реальном времени по стандарту С37.118, цикл 20 мс.

Модуль синхронизации ИСС-1.3 осуществляет прием и обработку сигналов от спутников глобальных навигационных систем ГЛОНАСС/GPS, формирование сигналов точного времени на основе полученных данных. Этот блок имеет пределы допускаемых смещений формируемой шкалы времени в режиме «Устойчивая синхронизация» – ± 200 нс.

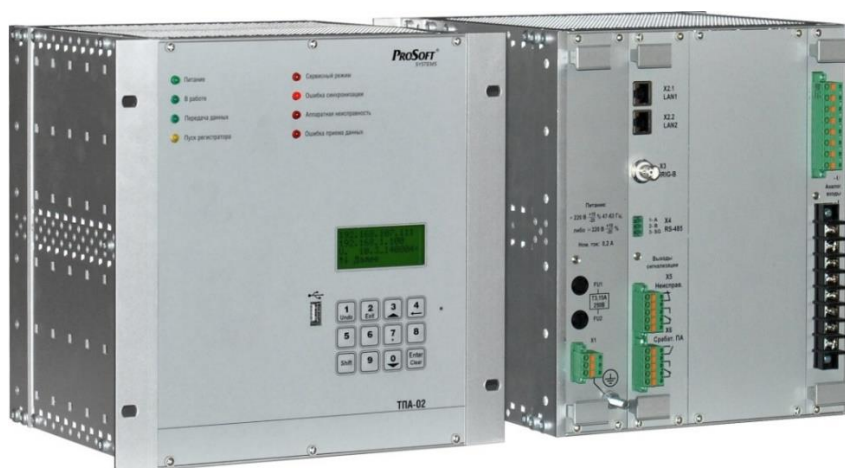


Рис. 4. Внешний вид ТПА-02



Рис. 5. Внешний вид модуля синхронизации ИСС-1.3

Регистратор ТПА-02 подключается к GPS приемнику для приема точного времени и к вторичным обмоткам трансформаторов напряжения и тока. Каждый регистратор одновременно измеряет напряжение и ток (действующее значение и фазу) которые синхронизированы с GPS сигналом с точностью 1 мкс. Данные с регистраторов СМРР собираются в концентраторе векторных данных для обработки, архивирования и последующей отправки в диспетчерский центр. Схема подключения ТПА-02 к линии представлена на рис. 6.

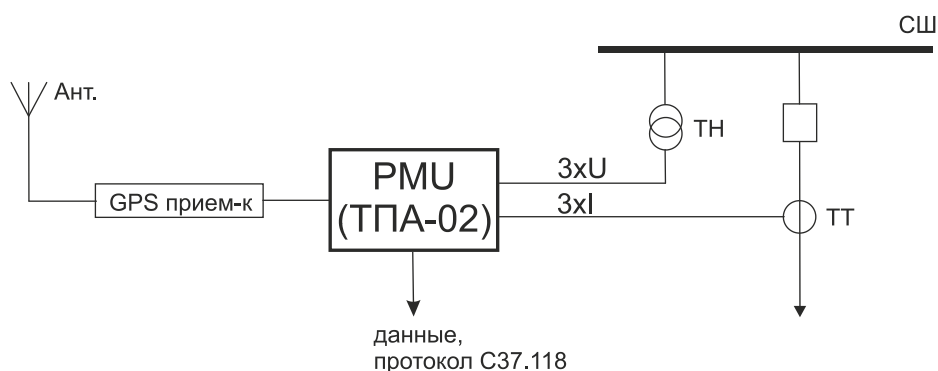


Рис. 6. Схема подключения ТПА-02

Для передачи информации от ТПА-02 к серверу была выбрана беспроводная линия связи, которая реализована на одноплатной ЭВМ Arduino с радиомодулем.

Для реализации передачи данных на сервер требуется малогабаритное устройство, которое позволит производить данные и выполнять простейшие вычисления. Для данной задачи был выбран микроконтроллер Arduino. Помимо обработки данных с ТПА-02, устройство имеет возможность обмениваться данными по средствам SMS, GPRS.

Целью разработки информационной системы было обеспечение возможности контроля параметров с помощью инфокоммуникационной сети Интернет в любой точке. Для реализации цифрового радиоканала был использован радиомодуль SIM800L с направленной антенной 2J9001C [12]. Соединение устройств Arduino UNO и модуля SIM800L выполняется с помощью интерфейса UART.

Регистратор ТПА-02 использует программу SignW (рис. 7) [13], которая позволяет визуализировать процессы и параметрами сети и передавать данные по интерфейсу Ethernet, используя протокол С37.118 [14].

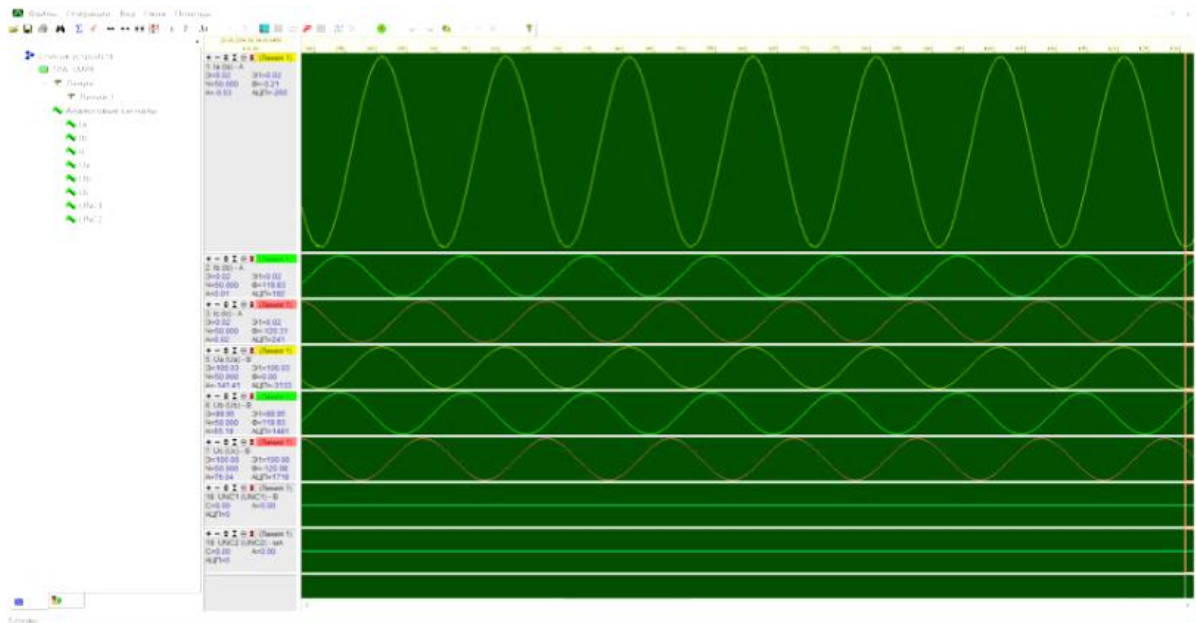


Рис 7. Пример интерфейса программы SingW

Для обработки результатов измерений необходим пользовательский интерфейс для сопряжения между программными интерфейсами приложений (АПИ).

В разрабатываемой системе используется 2 закрытых АПИ и 2 созданных АПИ:

- взаимодействие между ИСС и ТПА-02 (закрытый);
- сопряжение между сайтом управления устройством и ТПА-02 (закрытый);
- взаимодействие между программой микроконтроллера и сайтом управления устройством (проприетарный);
- сопряжение между микроконтроллером с модулем связи и сервером (проприетарный).

Для получения сведений о параметрах линии, генерируется файл табличного процессора Excel и далее данные передаются на микроконтроллер, который с помощью АПИ сервера передает данные о параметрах режимах линии.

В результате измерений в качестве входных данных являются массивы значений напряжений, ток, их фазы и метки времени.

Выходными данными являются:

- массивы векторов напряжений и токов;
- массивы данных активных и реактивных мощностей;
- графики для визуального анализа электрических процессов.

После всех операций по цифровой передаче данных в процессор и дальнейших вычислений, имеется возможность определять параметры и режимы электроэнергетической системы:

- активные и реактивные сопротивления линий электропитания;
- выходные сопротивления трансформаторов;
- уравнительные токи.

Определение параметров и режимов линий электропередачи возможны только при известных сдвигах фаз напряжений и токов в начале и конце линии. Постановка такой задачи иллюстрирована рис. 8.

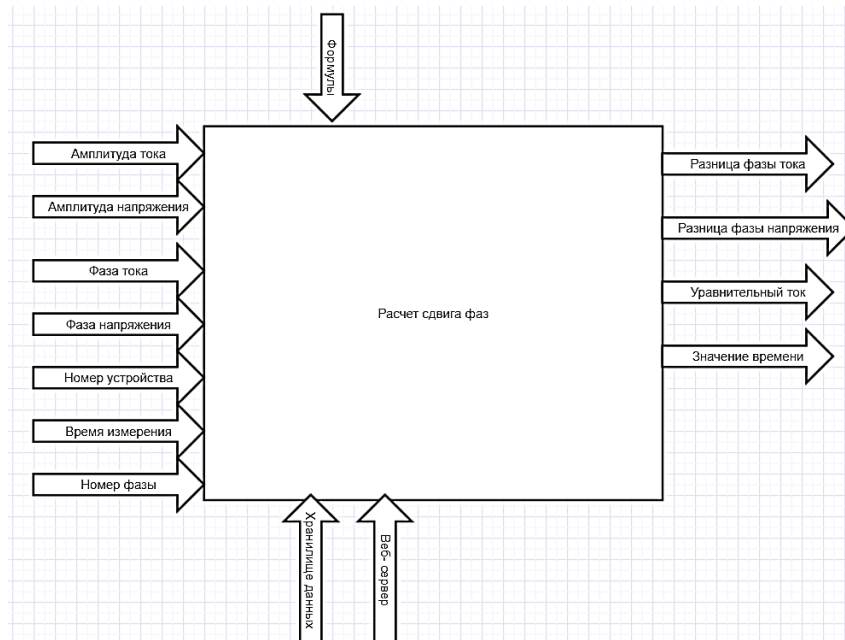


Рис. 8. Постановка задачи определения разницы фаз и уравнительного тока

После обработки, информация выводится в локальном диспетчерском пункте. Она позволяет оценивать состояние линий сети, тем самым исправляя критические сбои и корректировать отклонения от нормы. Для полного анализа состояния региональной сети и оценки потери электроэнергии, требуется отправлять информацию на центральный диспетчерский пункт, на котором расположен сервер. Сетевая схема системы передачи информации на сервер показана на рис. 9. Регистраторы ТПА-02 измеряют мгновенные векторы токов и напряжений, к каждому измерению добавляют метку времени, полученную от спутника и обработанную устройством синхронизации. Далее информация через микроконтроллер и радиомодуль передается в сеть Интернет, откуда принимается каналом образующим оборудованием и передается на сервер.

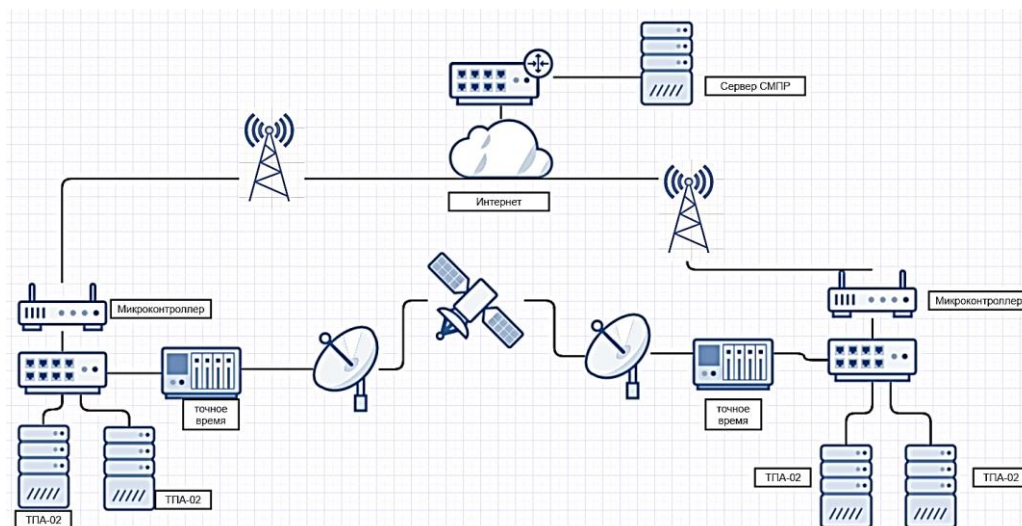


Рис. 9. Сетевая схема системы

Структурная схема системы передачи и обработки информации представлена на рис. 10. Передающая сторона представляет информацию в стандартах GPRS или SMS и через Интернет передает ее на сервер, который осуществляет парсинг данных и таблиц в стандарте Excel, генерирует графики различных параметров, рассчитывает разности фаз токов и напряжений, сопротивление линий и нагрузок, определяет уравнительные токи в системах с двойным питанием.

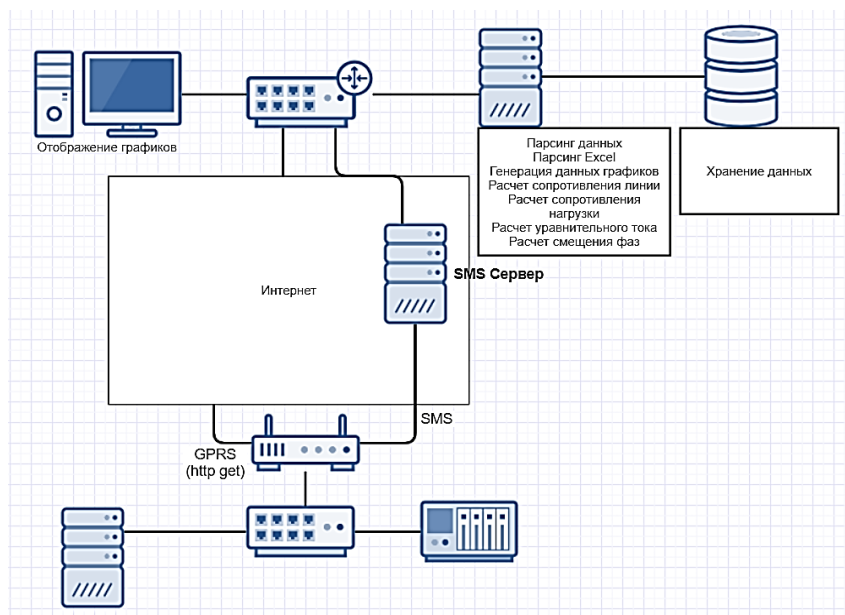


Рис. 10. Структурная схема системы передачи и обработки информации

Для предложенной структуры информационной системы было разработано серверной программное обеспечение. После создания базы данных, для обработки результатов измерений был использован и настроен web-сервер (рис. 11). Для создания web-сервера создан проект на языке С#. Для этого выбрана технология API ASP Net Core 3, под паттерном проектирования MVC [15].

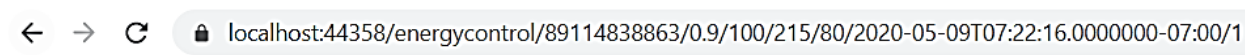


Рис. 11. Адрес локального web-сервера

На сервере происходит окончательная обработка информации. Предварительные результаты могут быть представлены в виде, показанном на рис. 12. Представлена только часть параметров – величины токов и напряжений и их фазы, активные и реактивные сопротивления линий и нагрузок, а также величина уравнильного тока и его фаза при двустороннем питании линии. Результаты сохраняются в базе данных.

25	25	0	0,9	Амплитуда тока	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
26	26	0	100	Фаза тока	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
27	27	0	215	Амплитуда напряжения	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
28	28	0	80	Фаза напряжения	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
29	29	0	200,44486527937474	Активное сопротивление нагрузки	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
30	30	0	129,96059871246058	Емкостное сопротивление нагрузки	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
31	31	0	0,413689634609137...	Индуктивное сопротивление нагрузки	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
32	32	0	3,3342583910305343	Активное сопротивление линии	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
33	33	0	297,16004090469005	Емкостное сопротивление линии	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
34	34	0	0,9459176855154863	Индуктивное сопротивление линии	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
35	35	0	0,016824890958838...	Уравнильный ток	2020-05-09 16:22:16.000	1	2
36	36	0	0,7198038837098797	Фаза уравнильного тока	2020-05-09 16:22:16.000	1	2

Рис. 12. Пример результатов вычислений параметров и режимов системы электроснабжения

Выводы

Использование спутниковых систем синхронизации времени позволяют осуществлять изменения на распределенных объектах электроснабжения, которые ранее не проводились.

Предложенная система является средством оперативного определения ряда параметров и режимов линий электроснабжения, как, например, векторов токов и напряжений и начале и в конце

линии, активных и реактивных сопротивлений самой линии и нагрузок, а также уравнительных токов в режиме двустороннего питания.

Применение известных отечественных измерительных комплексов и проприетарных программных средств, использование в качестве среды передачи инфокоммуникационной сети Интернет позволяют принимать данные и производить их обработку в любой точке сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Информационно-аналитический центр координатного времени и навигационного обеспечения URL: <https://www.glonass-iac.ru/guide/gnss/glonass.php> (дата обращения: 25.05.2021).
2. GPS — глобальная система определения координат // Прикладной потребительский центр и система информационного обеспечения URL: <http://ppcmnic.ru/gnss/gps> (дата обращения: 25.05.2021).
3. В.Ауев, Р.Ерохин, У.Куликов, “IPS/UPS Wide Area Monitoring System”, // CIGRE, 2006 41st Session, August 27th – September 1st.
4. J. Chow. Synchronphasor Data and Their Application in Power System Control, // 49th IEEE Conference on Decision and Control Workshop “Smart Grids: New Challenges for Control System.
5. L.Vanfretti, J. Chow. Synchronphasor Data Applications for Wide-Area System, // 17th Power System Computation Conference, Stockholm Sweden-August 22-26, 2011.
6. IEEE Standard for Synchronphasors for Power System (IEEE C37.118™ -2005, revision of IEEE Std 1344™ -1995), Approved 1 February 2006 American Nation Standards Institute Approved 21 October IEEE-SA Standards Board.
7. Жуков, А.В., Куликов Ю.А., Демчук А.С. Система мониторинга переходных режимов // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2010. – №2. – С. 21-28.
8. Стычинский З.А. Степанов В.С., Солонина Н.Н. Применение векторных технологий в интеллектуальных энергосистемах// Вестник ИргТУ. – 2012. – №12. – С. 44-50.
9. Phadke A.G., Thorp J.S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. Springer, 2008. – 254 p.
10. Устройство синхронизированных векторных измерений ТПА-02 СМПР [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://91.226.80.188/catalog/show/registrator-perehodnyh-rezhimov-tpa02-rmi>. – (Дата обращения: 08.04.2016).
11. Устройство синхронизации времени ИСС-1.3 – «ПРОСОФТ-СИСТЕМЫ». Екатеринбург, 2018. – 25 с.
12. GSM-модуль SIM800L: часть 3 — USSD, PDU-формат, отправка SMS в PDU-формате // Codius URL: http://codius.ru/articles/GSM_3 (дата обращения: 25.05.2021).
13. Руководство пользователя программы SignW – «ПРОСОФТ-СИСТЕМЫ». Екатеринбург, 2018. – 141 с.
14. IEEE Standard for Synchronphasors for Power System (IEEE C37.118™ -2005, revision of IEEE Std 1344™ -1995), Approved 1 February 2006 American Nation Standards Institute Approved 21 October IEEE-SA Standards Board.
15. Руководство по ASP.NET MVC 5 // Метанит URL: <https://metanit.com/sharp/mvc5/> (дата обращения: 25.05.2021).

SYNCHRONOUS VECTOR SYSTEM FOR DETERMINING THE MODES AND PARAMETERS OF POWER SUPPLY SYSTEMS

¹Chizhma Sergey Nikolaevich, Professor, Department of Electrical Equipment and Automation of Ships

²Strigin Igor Vitalievich, Post-graduate Student, Institute of Physics, Mathematics and Information Technology

³Molchanov Sergey Vasilievich, Associate Professor, Institute of Physics, Mathematics and Information Technology

¹Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,

Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹kaf_eas@bgarf.ru

²Immanuel Kant Baltic federal university (IKBFU),

Kaliningrad, Russia, e-mail: ^{2,3}webmail@kantiana.ru

The purpose of the work is to study and develop a synchronous vector system for determining the modes and parameters of power supply systems. The object of the study is power supply lines and electrical substations. The subject of the study is the development of a system for monitoring the parameters of lines and modes. In the practical part of the work, wireless communication tools and applications for data exchange between the server and the system for monitoring power line circuits and parameters are shown.

УДК 621.313

ВЫБОР И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГРУЗОПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА В МАШИННОМ ОТДЕЛЕНИИ НА ПРИМЕРЕ КОНТЕЙНЕРОВОЗА «CHRISTA SCHULTE»

¹Шабалин Леонид Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент

²Савенко Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент

³Савенко Павел Станиславович, курсант

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,

Калининград, Россия, e-mail: ¹shabalin44@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический

университет», Республика Крым, Керчь, Россия, e-mail: ^{2,3}savenko-70@mail.ru

Рассмотрена необходимость подъема и перемещения устройств, механизмов и запасных частей в пределах машинного отделения на морском судне. Показана целесообразность установки в судовом машинном отделении мостового крана. Предложена методика расчета мощности электроприводов подъема/спуска, передвижения тележки и моста крана. Приведены расчеты для контейнеровоза «CHRISTA SCHULTE», на основе которых проведено изготовление и монтаж предложенного оборудования.

Введение

Контейнеровоз «Christa Schulte» IMO: 9665669 построен в 2014 году в Корее. Судно предназначено для перевозки контейнеров, количество которых может достигать одновременно на борту до 5400 единиц. Портом приписки является Сингапур. На судне установлен двухшаговый двигатель корейского производства, шестицилиндровый Hyundai – Man B&W6G80ME – C9.2 мощностью 24680 кВт с газотурбонагнетателем Hyundai – ABB A270. В качестве источников электрической энергии на контейнеровозе «Christa Schulte» установлены три основных дизель-генератора с активной мощностью по 2090 кВт (дизельный двигатель 7H25/33, генератор HFC7 – 714 – 84K) и дополнительно еще один генераторный агрегат с активной мощностью 1600 кВт (дизельный двигатель 6H25/33, генератор HFC7 – 636 – 84K). В качестве аварийного источника электрической энергии используется генераторный агрегат с активной мощностью 150 кВт (дизельный двигатель GASI7 – 06E, генератор ECO38 – 1SN/4). Главный двигатель судна и основные дизель-генераторы [1], а также другие вспомогательные устройства и механизмы расположены в машинном отделении, которое имеет достаточно значительную площадь. При эксплуатации контейнеровоза «Christa Schulte», как и любого морского судна, возникает необходимость перемещения устройств, меха-

низмов и запасных частей в пределах машинного отделения [2,3]. Массы поднимаемых грузов достигают десятков тонн, расстояния десятки метров. Выполнение таких грузовых операций сопровождается большой физической нагрузкой на экипажи. Поэтому целесообразно разработать методику выбора грузового устройства для машинного отделения морских судов и расчета мощности его электроприводов.

Постановка задачи

Исследования показали, что для перемещения груза по машинному отделению лучше всего использовать двухбалочный (рис. 1) мостовой кран [4, 5]. Вдоль бортов судна в машинном отделении прокладываются подкрановые пути, по которым движется крановый мост. Подъем и спуск грузов производится грузовой тележкой, которая передвигается по крановому мосту. Таким образом, имея две степени свободы передвижения в горизонтальной плоскости, мостовой кран имеет рабочую зону на всей площади машинного отделения судна. Это дает возможность членам машинной команды при производстве ремонтных работ производить подъем и спуск запасных частей, устройств и механизмов в любой точке машинного отделения с большой точностью.

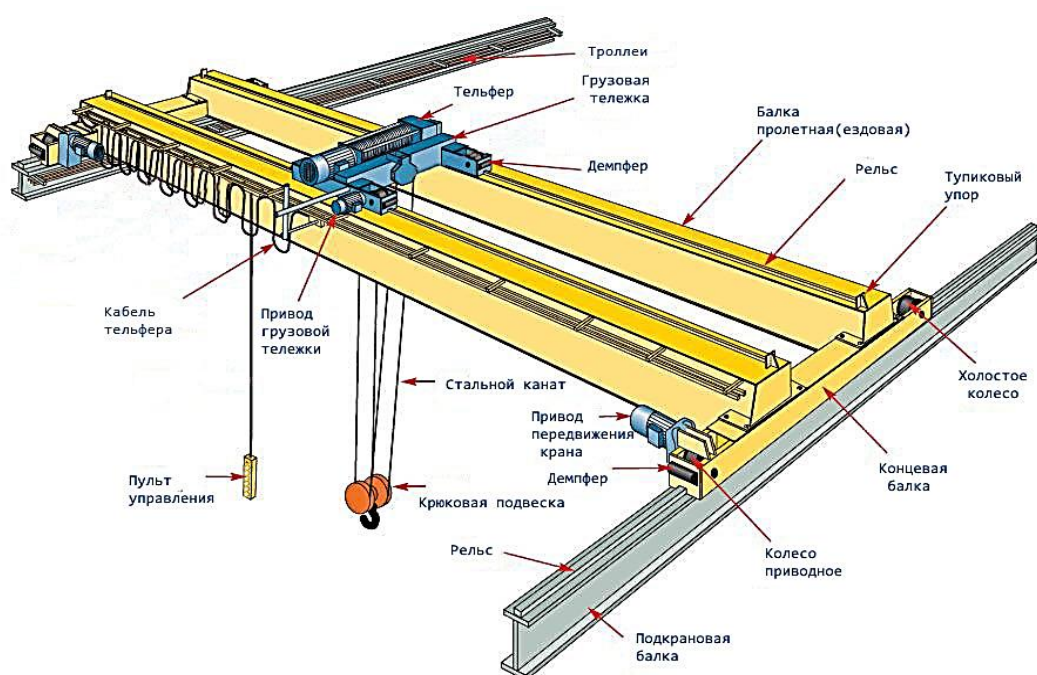


Рис. 1. Устройство крана мостового электрического двухбалочного опорного

Мостовой кран имеет несколько электрических приводов, позволяющих непосредственно поднимать и опускать грузы, а также перемещать мост крана и грузовую тележку во взаимно перпендикулярных направлениях горизонтальной плоскости [6]. В связи с тем, что мостовой кран необходимо установить в машинном отделении на судне, в условиях ограниченности пространства, необходима разработка методики расчёта мощностей этих электроприводов. Рассмотрим предложенную методику расчета мощностей и выбора электродвигателей, а также проверки правильности их выбора для морского судна-контейнеровоза «Christa Schulte».

Результаты исследования

Расчёт и выбор электродвигателя подъёма и спуска груза

Определим данные, необходимые для расчета и выбора электродвигателя подъёма и спуска груза. Численные значения для выполнения расчетов примем адаптированными к контейнеровозу «Christa Schulte» (таблица 1).

Исходные данные для расчёта электродвигателя подъёма/спуска гака

Масса груза максимальная, кг	m_H	6300
Масса гака, кг	m_0	18
Высота подъёма/спуска, м	H	18
Скорость подъёма/спуска, м/мин	σ	3,8
КПД механизма под нагрузкой, о.е.	η_H	0,84
Диаметр барабана лебёдки, м	D_6	0,4
Передаточное число полиспаста	U	6
Передаточное число редуктора	i_p	85
Напряжение питания, В	U	440
Частота питающей сети, Гц	f	60
Ускорение свободного падения, $м/с^2$.	g	10

Окружное усилие на барабане в статическом режиме [7]:

– при подъеме номинального груза (1):

$$G_H = m_H \cdot g = 6300 \cdot 10 = 63000 \text{ Н}; \quad (1)$$

– при подъеме гака без груза (2):

$$G_o = m_o \cdot g = 18 \cdot 10 = 180, \text{ Н}, \quad (2)$$

Статический момент при подъеме груза [7] может быть определен по формуле (3):

$$M_{стн} = \frac{(G_H + G_o) \cdot D_6}{2 \cdot \eta_H \cdot i_p \cdot \nu} = \frac{(63000 + 180) \cdot 0,4}{2 \cdot 0,84 \cdot 85 \cdot 6} = 29,496 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3)$$

Статический момент для режима тормозного спуска (4):

$$M_{сстн} = \frac{(G_H + G_o) D_6}{2 \cdot i_p \cdot \nu} \cdot \left(2 - \frac{1}{\eta_H} \right), \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (4)$$

$$M_{сстн} = \frac{(6300 + 180) 0,4}{2 \cdot 85 \cdot 6} \left(2 - \frac{1}{0,84} \right) = 20,057 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (5)$$

Статический момент холостого подъема гака (6):

$$M_{стк} = \frac{G_o D_6}{2 \cdot \eta_o \cdot i_p \cdot \nu} = \frac{180 \cdot 0,4}{2 \cdot 0,0535 \cdot 85 \cdot 6} = 1,319 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (6)$$

где η_o - КПД механизма для режима холостого подъема гака:

$$\eta_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{\eta_H} + \frac{\alpha}{K_3} - \alpha \right)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{0,84} + \frac{0,05}{0,00285} - 0,05 \right)} = 0,0535; \quad (7)$$

$$K_3 = \frac{m_0}{(m_H + m_0)} = \frac{18}{(6300 + 18)} = 0,00285. \quad (8)$$

где $\alpha=0,05$ – опытный коэффициент,

Также необходимо определить статический момент в режиме холостого опускания гака (9):

$$M_{сск} = \frac{G_o D_6}{2 \cdot i_p \cdot v} \left(\frac{1}{\eta_o} - 2 \right) = \frac{180 \cdot 0,4}{2 \cdot 85 \cdot 6} \left(\frac{1}{0,0535} - 2 \right) = 1,178 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (9)$$

Получив необходимые значения моментов нужно воспользоваться формулой и определить средний эквивалентный момент (10):

$$M_3 = \sqrt{\frac{M_{снп}^2 + M_{ссн}^2 + M_{снк}^2 + M_{сск}^2}{4}} = \sqrt{\frac{29,496^2 + 20,057^2 + 1,319^2 + 1,178^2}{4}} = 17,857 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (10)$$

Частота вращения двигателя также необходима для дальнейших расчетов (11):

$$n_{ог} = \frac{\sigma \cdot i_p \cdot v}{\pi \cdot D_6} = \frac{3,8 \cdot 6 \cdot 85}{3,14 \cdot 0,4} = 1543 \text{ об / мин}. \quad (11)$$

Средняя эквивалентная мощность электродвигателя составит (12):

$$P_3 = \frac{M_3 \cdot n_{ог}}{9550} = \frac{17,857 \cdot 1543}{9550} = 2,885 \text{ кВт}. \quad (12)$$

Примем допущение о равенстве времени подъема и времени спуска груза (13):

$$t_{п.г} = t_{с.г} = t_{п.к} = t_{с.к} = \frac{H}{\sigma} = \frac{18 \cdot 60}{3,8} = 284,21 \text{ с}, \quad (13)$$

Суммарное время работы можно принять (14):

$$\sum t_p = 4 \cdot t_{п.г} = 4 \cdot 284,21 = 1136,84 \text{ с}. \quad (14)$$

Далее необходимо выполнить расчеты, позволяющие определить время цикла работы, которое необходимо для выбора двигателя с необходимой продолжительностью включения.

Время передвижения крана (15) определится длиной машинного отделения $L_k = 19,3$ м и средней скоростью его передвижения $v_{ср.к.} = 4,3$ м/мин.

$$t_{п.п} = \frac{L_k}{v_{ср.к.}} = \frac{19,3 \cdot 60}{4,3} = 269,3 \text{ с}, \quad (15)$$

А время передвижения тележки определится (16) шириной машинного отделения $L_m = 8,5$ м и - средняя скорость передвижения тележки $v_{ср.м.} = 4,3$ м/мин.

$$t_{п.п.т.} = \frac{L_m}{v_{ср.м.}} = \frac{8,5 \cdot 60}{4,3} = 118,6 \text{ с}, \quad (16)$$

Для учета времени пауз $\sum t_p$ (17) примем допущения о том, что время между подъемом груза и спуском груза $t_{\text{ПР}}$ и $t_{\text{ПРТ}}$ не зависит от массы груза, а время строповки $t_{\text{СТ}} = 30$ с, тогда

$$\sum t_{\text{П}} = 2t_{\text{ПР}} + 2t_{\text{ПРТ}} + 2t_{\text{СТ}} = 2 \cdot 269,3 + 2 \cdot 118,6 + 2 \cdot 30 = 835,81 \text{ с.} \quad (17)$$

А суммарное время цикла (18):

$$t_{\text{Ц}} = \sum t_p + \sum t_{\text{П}} = 1136,84 + 835,81 = 1972,66 \text{ с.} \quad (18)$$

Таким образом, реальная продолжительность включения механизма подъема (19):

$$\text{ПВ}\% = \frac{\sum t_p}{t_{\text{Ц}}} \cdot 100 = \frac{1136,84}{1972,66} \cdot 100 = 57,63 \%. \quad (19)$$

Учитывая наличие переходных режимов при подъемах груза, следует увеличить мощность двигателя при стандартной величине ПВ = 60 % в 1,3 – 2 раза, (20).

$$P_{\text{рас}} = 1,4 \cdot P_{\text{э}} \cdot \sqrt{\frac{\text{ПВ}\%}{\text{ПВ}60}} \cdot 0,001 = 1,4 \cdot 2,885 \cdot \sqrt{\frac{57,63}{60}} \cdot 0,001 = 3,96 \text{ кВт}. \quad (20)$$

На основе полученных результатов расчета представляется целесообразным применение электродвигателя YZ-132L-4/12-Н с ПВ = 60 % (таблица 2).

Таблица 2

Технические данные электродвигателя YZ-132L-4/12-Н

Тип двигателя	P_n , кВт	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$\cos \varphi$	η_n , %	M_{max} , Нм
YZ-132L-4/12-Н	4,5/1,7	1500/500	0,83	85	72

При проверке электродвигателя на перегрузочную способность [7] используется соотношение (21):

$$0,8 \cdot \frac{M'_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}} \geq \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}, \quad (21)$$

где M'_{max} - максимальный каталожный момент двигателя, Нм;
 M_{max} - максимальный расчетный момент двигателя, Нм;
 $M_{\text{ном}}$ - двигателя в номинальном режиме работы, Нм (22).

$$M_{\text{ном}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{ном(табл.)}}}{n_{\text{ном(табл.)}}} = \frac{9550 \cdot 4,5}{1500} = 28,65 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (22)$$

$$0,8 \cdot \frac{72}{28,65} \geq \frac{17,857}{28,65}; 2,01 \geq 0,623. \quad (23)$$

Условие (21) выполняется.

Также проводится проверка электродвигателя на нагрев [7].

Определяется средняя высота подъема груза (24):

$$H_{\text{ср}} = 0,5 \cdot H = 0,5 \cdot 18 = 9 \text{ м}, \quad (24)$$

Определяется средняя продолжительность работы механизма (25):

$$t_p = H_{cp} / \sigma = 9 \cdot 60 / 3,8 = 141,1 \text{ с} . \quad (25)$$

Определяется коэффициент γ для механизма подъёма груза (26):

$$\gamma = 0,72 + 1,38 \cdot \frac{t_n}{t_p} - 0,52 \cdot \left(\frac{t_n}{t_p}\right)^2 = 0,72 + 1,38 \cdot \frac{1,5}{141,1} - 0,52 \cdot \left(\frac{1,5}{141,1}\right)^2 = 0,7346 , \quad (26)$$

где $t_n = 1,5 \text{ с}$ - допускаемое время разгона механизма подъёма 6,3 тонного крана.

Определяется эквивалентная мощность рабочей части цикла (27):

$$P_{эр} = \gamma \cdot P_{дст} = 0,7346 \cdot 4,7636 = 3,5 \text{ кВт} , \quad (27)$$

где $P_{дст}$ - действительная статическая мощность двигателя (28), кВт.

$$P_{дст} = \frac{(G_0 + G_n) \cdot \sigma}{1000 \cdot \eta_n} = \frac{(63000 + 180) \cdot 3,8}{1000 \cdot 0,84 \cdot 60} = 4,7636 \text{ кВт} . \quad (28)$$

Определяется эквивалентная мощность (29), отнесённая к номинальному режиму (ПВ=60 %):

$$P_{60} = P_{эр} \cdot K_э = 3,5 \cdot 1 = 3,5 \text{ кВт} , \quad (29)$$

где $K_э = 1$ - коэффициент режима работы для ПВ=60 %.

Двигатель условиям нагрева (30) удовлетворяет, так как:

$$P_{60} \leq P_{ном(табл.)} ; 3,5 \leq 4,5 \quad (30)$$

Расчёт электропривода движения тележки

Исходные данные, необходимые для расчёта электропривода движения тележки мостового крана для контейнеровоза «CHRISTA SCHULTE» приведены в таблице 3.

Таблица 3

Исходные данные для расчёта электропривода движения тележки

Параметр	Буквенное обозначение	Числовое значение
Масса тележки, кг	m_T	420
Масса груза, кг	m_n	6300
Длина перемещения тележки, м	L_T	8,5
Средняя скорость перемещения, м/мин	$v_{ср.Т.}$	4,3
Число циклов в час	z	7
Диаметр ходового колеса, м	D_K	0,06
Диаметр цапфы, м	$d_ц$	0,02
Коэффициент трения скольжения	$\mu_ц$	0,08
Коэффициент трения качения	f	0,0008
КПД редуктора	η_n	0,98

Определяется мощность электродвигателя следующим образом (31):

$$P_{TP} = \frac{\kappa_p \cdot G_T \cdot (d_{ц} \cdot \mu_{ц} + 2 \cdot f) \cdot \mathcal{G}_{CP}}{D_K \cdot \eta_H} \cdot 10^{-3}, \quad (31)$$

где κ_p - 1,5 ÷ 2 – коэффициент трения вращающихся деталей;

G_T - сила тяжести (32), Н.

$$G_T = (m_T + m_n) \cdot g = (420 + 6300) \cdot 10 = 67200, H; \quad (32)$$

$$P_{TP} = \frac{2 \cdot 67200 \cdot (0,02 \cdot 0,08 + 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 4,3}{0,06 \cdot 0,98 \cdot 60} \cdot 10^{-3} = 0,524 \text{ кВт}. \quad (33)$$

Мощность, затрачиваемая электродвигателем на перемещение тележки без нагрузки (34):

$$P_X = \frac{\kappa_p \cdot G_{TX} \cdot (d_{ц} \cdot \mu_{ц} + 2 \cdot f) \cdot \mathcal{G}_{CP}}{D_K \cdot \eta_H} \cdot 10^{-3}, \quad (34)$$

где G_{TX} - сила тяжести тележки без груза (35), Н;

$$G_{TX} = m_T \cdot g = 420 \cdot 10 = 4200, H; \quad (35)$$

$$P_X = \frac{2 \cdot 4200 \cdot (0,02 \cdot 0,08 + 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 4,3}{0,06 \cdot 0,98 \cdot 60} \cdot 10^{-3} = 0,0328 \text{ кВт}. \quad (36)$$

Для определения мощности двигателя используется формула (37):

$$P_{\delta} = k_i \cdot P_{\mathcal{E}} \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{\Phi}}{ПВ_{CT}}}, \quad (37)$$

где k_i = 1,3 ÷ 2 – коэффициент динамических нагрузок;

$P_{\mathcal{E}}$ – эквивалентная среднеквадратичная мощность статических сопротивлений электропривода;

$ПВ_{\Phi}$ – фактическое значение относительной продолжительности включения рассчитываемого электропривода, %;

$ПВ_{CT}$ – стандартное значение относительной продолжительности включения, ближайшее к $ПВ_{\Phi}$ для электродвигателей выбираемого типа, %.

Длительность каждого участка времени t зависит от значений пути передвижения и скорости (38):

$$t_p = \frac{L_T}{k_t \cdot \mathcal{G}_{cp}} = \frac{8,5 \cdot 60}{0,8 \cdot 4,3} = 148,26 \text{ с}, \quad (38)$$

где k_t = 0,7 ... 0,9 – коэффициент, показывающий, что при пуске и торможении скорость изменяется в пределах от 0 до \mathcal{G}_{CP} .

$$P_{\Sigma} = \sqrt{\frac{P_{mp}^2 \cdot t_p + P_x^2 \cdot t_p}{2 \cdot t_p}} = \sqrt{\frac{0,524^2 \cdot 148,26 + 0,0328^2 \cdot 148,26}{2 \cdot 148,26}} = 0,3714 \text{ кВт}. \quad (39)$$

$$ПВ_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot t_p}{t_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 148,26}{514,29} \cdot 100\% = 57,66 \%, \quad (40)$$

где t_{Σ} - время, соответствующее одному циклу (41), с.

$$t_{\Sigma} = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{7} = 514,29 \text{ с}. \quad (41)$$

Необходимо учесть, что стандартное значение относительной продолжительности включения, ближайшее к $ПВ_{\phi}$, равно $ПВ_{ст} = 60 \%$.

$$P_{\phi} = 1,8 \cdot 0,3714 \cdot \sqrt{\frac{57,66}{60}} = 0,655 \text{ кВт}. \quad (42)$$

На основе полученных результатов расчета представляется целесообразным применение электродвигателя НМ80 с $ПВ = 60 \%$ (таблица 4).

Таблица 4

Технические данные электродвигателя НМ80

Тип двигателя	P_n , кВт	$n_{ном}$, об/мин	$\cos \varphi$	η_n , %	M_{max} , Нм
НМ80	0,75	1500	0,8	71,5	43

Для проверки электродвигателя на перегрузочную способность используется методика, аналогичная проверке двигателя подъема (21).

Расчёт электропривода движения моста крана

Исходные данные, необходимые для расчёта электропривода движения балки крана для контейнеровоза «CHRISTA SCHULTE» приведены в таблице 5.

Таблица 5

Исходные данные для расчёта привода движения крана

Параметр	Буквенное обозначение	Числовое значение
Масса балки крана, кг	m_b	2300
Масса тележки, кг	m_T	420
Масса груза, кг	m_n	6300
Длина перемещения балки, м	L_b	19,3
Средняя скорость перемещения, м/мин	$v_{ср.б.}$	4,3
Число циклов в час	z	12
Диаметр ходового колеса, м	D_K	0,2
Диаметр цапфы, м	d_{Σ}	0,05
Коэффициент трения скольжения	μ_{Σ}	0,08
Коэффициент трения качения	f	0,0008
КПД редуктора	η_n	0,98

Определяется мощность электродвигателя передвижения балки следующим образом (43):

$$P_{\bar{o}} = \frac{\kappa_p \cdot G_{\bar{o}} \cdot (d_{\text{ц}} \cdot \mu_{\text{ц}} + 2 \cdot f) \cdot \mathcal{G}_{\text{CP}}}{D_K \cdot \eta_H} \cdot 10^{-3}, \quad (43)$$

где $\kappa_p = 1,5 \div 2$ – коэффициент трения вращающихся деталей;

$G_{\bar{o}}$ – сила тяжести (44), Н.

$$G_{\bar{o}} = (m_T + m_n + m_{\bar{o}}) \cdot g = (420 + 6300 + 2300) \cdot 10 = 90200, H; \quad (44)$$

$$P_{\bar{o}} = \frac{2 \cdot 90200 \cdot (0,05 \cdot 0,08 + 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 4,3}{0,2 \cdot 0,98 \cdot 60} \cdot 10^{-3} = 0,369 \text{ кВт}. \quad (45)$$

Мощность, затрачиваемая электродвигателем на перемещение балки без нагрузки (46):

$$P_{x\bar{o}} = \frac{2 \cdot 27200 \cdot (0,05 \cdot 0,08 + 2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}) \cdot 4,3}{0,2 \cdot 0,98 \cdot 60} \cdot 10^{-3} = 0,111 \text{ кВт} \quad (46)$$

где $G_{\bar{o}x}$ – сила тяжести балки без груза (47), Н;

$$G_{\bar{o}x} = (m_T + m_{\bar{o}}) \cdot g = (420 + 2300) \cdot 10 = 27200, H; \quad (47)$$

Мощность двигателя рассчитывается по формуле (37):

Длительность каждого участка времени t зависит от значений пути передвижения и скорости (48):

$$t_{p\bar{o}} = \frac{L_T}{k_t \cdot \mathcal{G}_{\text{CP}} \cdot n_{\text{двиг}}} = \frac{19,3 \cdot 60}{0,8 \cdot 4,3 \cdot 4} = 84,16 \text{ с}, \quad (48)$$

где $k_t = 0,7 \dots 0,9$ – коэффициент, показывающий, что при пуске и торможении скорость изменяется в пределах от 0 до \mathcal{G}_{CP} ;

$n_{\text{двиг}} = 4$ – число двигателей механизма движения балки крана.

$$P_{\mathcal{E}} = \sqrt{\frac{P_{\bar{o}}^2 \cdot t_{p\bar{o}} + P_{x\bar{o}}^2 \cdot t_{p\bar{o}}}{2 \cdot t_{p\bar{o}}}} = \sqrt{\frac{0,369^2 \cdot 84,16 + 0,111^2 \cdot 84,16}{2 \cdot 84,16}} = 0,273 \text{ кВт}. \quad (49)$$

$$ПВ_{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{t_y} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot t_{p\bar{o}}}{t_y} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 84,16}{300} \cdot 100\% = 56,1\%, \quad (50)$$

$$t_y = \frac{3600}{z} = \frac{3600}{12} = 300 \text{ с}. \quad (51)$$

Необходимо учесть, что стандартное значение относительной продолжительности включения, ближайшее к $P_{Вф}$, равно $P_{Вст} = 60\%$

$$P_{\delta} = 1,8 \cdot 0,273 \cdot \sqrt{\frac{56,1}{60}} = 0,475 \text{ кВт.} \quad (52)$$

На основе полученных результатов расчета представляется целесообразным применение электродвигателя НМ80 с $P_{В} = 60\%$ (таблица 4). Выбранный электродвигатель проверяется на перегрузочную способность (21).

Выводы

Предложенная методика расчёта электроприводов подъёма/спуска, передвижения тележки и моста крана позволяет произвести расчет мощностей мостового крана в машинном отделении и выполнить проверку выбранных электродвигателей на перегрузочную способность и нагрев. Включение в состав судового электротехнического комплекса мостового крана в машинном отделении позволяет значительно облегчить и ускорить выполнение технологических операций при обслуживании и ремонте главного двигателя, дизель-генераторных агрегатов и вспомогательных механизмов. Оснащение контейнеровоза «CHRISTA SCHULTE» мостовым краном в машинном отделении подтвердило правильность предложенных решений. Считаю целесообразным установку предлагаемого оборудования на вновь строящихся морских судах, а также на судах, уже находящихся в эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хватов О.С. Электростанция на базе дизель-генератора переменной частоты вращения / О.С. Хватов, А.Б. Дарьенков // Электротехника. – 2014. – № 3. – С. 28–32.
2. Шабалин Л.Д. Исследование работы судового электротехнического комплекса при питании от береговой сети с повышенным напряжением / Л.Д. Шабалин, А.Е. Савенко, П.С. Савенко // V Международный Балтийский морской форум. 21-27 мая: материалы форума. Часть 1. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – С. 282-287.
3. Савенко А.Е., Голубев А.Н. Обменные колебания мощности в судовых электротехнических комплексах // Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина. – Иваново, 2016. – 172 с.
4. Мещеряков В.Н., Левин П.Н., Синюкова Т.В. Повышение эффективности поискового алгоритма для оптимизации энергосбережения за счет формирования магнитного потока асинхронного двигателя // Приборы и системы, управление, контроль, диагностика. 2014. № 6, с.25–30.
5. Мещеряков В.Н. Системы регулируемого асинхронного электропривода для подъемно-транспортных механизмов. – Липецк: ЛГТУ, 2005. – 112 с.
6. Gracheva E.I., Naumov O.V., Gorlov A.N., Modelling Characteristics of Reliability Low-Voltage Switching Devices on the Basis of Random Checks on the Example of Contactors, Proceedings - 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019, 2019, pp. 641–643, art. no. 8947595, DOI: 10.1109/SUMMA48161.2019.8947595
7. Судовые электроприводы: Справочник. В 2 т. /А.П. Богословский, Е.М. Певзнер, И.Р. Фрейдзон, А.Г. Яуре. – Л.: Судостроение, 1993.

SELECTION AND CALCULATION OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE LIFTING DEVICE IN THE ENGINE ROOM ON THE EXAMPLE OF THE CONTAINER CARRIER "CHRISTA SCHULTE"

¹Shabalin Leonid, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

²Savenko Aleksandr, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

³Savenko Pavel, cadet

¹ FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹shabalin44@mail.ru

²Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Crimea Republic, Russia,

e-mail: ^{2,3}savenko-70@mail.ru

The necessity of lifting and moving devices, mechanisms and spare parts within the engine room on a sea vessel is considered. The expediency of installing an overhead crane in the ship's engine room is shown. A method for calculating the power of electric drives for lifting / lowering, movement of the trolley and crane bridge is proposed. The calculations for the container ship "CHRISTA SCHULTE" are given, on the basis of which the manufacture and installation of the proposed equipment was carried out.

СЕКЦИЯ «СУДОВЫЕ И СТАЦИОНАРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»

SECTION "SHIP AND STATIONARY POWER PLANTS"

УДК 536.22

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ ОРГАНИЧЕСКИХ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ. ЭТИЛЦИКЛОГЕКСАН

¹Александров Игорь Станиславович, доцент, д-р техн. наук

²Герасимов Анатолий Алексеевич, профессор, д-р техн. наук

³Плавич Андрей Юрьевич, доцент, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹igor.aleksandrov@klgtu.ru

Выполнен критический обзор и анализ экспериментальной базы о термодинамических свойствах этилциклогексана. Анализ показал, что экспериментальные исследования выполнены только в жидкой фазе при температурах до 500 К. Необходимые для разработки индивидуального уравнения состояния массивы данных в неисследованных областях параметров, были получены расчетными методами. Основываясь на критически оцененных авторами массивах разнородных данных, разработано уравнение состояния технически важного нафтена – этилциклогексана.

1. Введение

Циклоалканы относятся к веществам технически важным. Помимо нефтегазового сектора, эти вещества также применяются в промышленности как сырье для процессов производства адипиновой кислоты, полиамидных волокон, пластмасс и т. д. Для хорошо экспериментально изученных нафтенов (циклопентан, циклогексан) уже разработаны фундаментальные уравнения состояния (ФУС), позволяющие производить надежный расчет всех термодинамических свойств (ТДС). Имеются также и обоснованные корреляционные уравнения для расчета коэффициентов переноса – вязкости и теплопроводности. Для других представителей данной группы веществ (метилциклогексан и этилциклогексан) расчет теплофизических свойств производят, как правило, прогнозными методами теории подобия. Однако разработка индивидуальных уравнений состояния для важных с промышленной точки зрения веществ всегда будет актуальной потому, что в данном случае обеспечивается высокая точность расчета свойств. Кроме этого, появляется новая информация о гомологических зависимостях и эволюции уравнения состояния, необходимая для развития и совершенствования прогнозных методов расчета. Следует отметить, что при прогнозировании ТДС органических энергоносителей (природный газ, газовый конденсат, нефтяные фракции) на основе модельных смесей, в состав которых входит исследуемый углеводород также необходимо уравнение состояния данного компонента в той же форме, в которой представлено ФУС смеси. В данном докладе представлено новое уравнение состояния этилциклогексана, а также результаты применения этого уравнения для расчета ТДС.

2. Уравнение состояния этилциклогексана

На сегодняшний день фундаментальные уравнения состояния (ФУС) являются эффективной формой хранения информации о технически важных веществах. Такие ФУС, являясь удобной ана-

литической формой хранения информации, дают возможность воспроизводить спектр термодинамических свойств интересующего вещества. Часто применяемыми в научной практике являются уравнения, выраженные в форме зависимости безразмерной энергии Гельмгольца (изохорно-изотермический потенциал) от собственных переменных

$$\frac{a(T, \rho)}{RT} = \frac{a^0(T, \rho) + a^r(T, \rho)}{RT} = \alpha^0(\tau, \delta) + \alpha^r(\tau, \delta) \quad (1)$$

где $a(T, \rho)$ – изохорно-изотермический потенциал; $\alpha^0(\tau, \delta)$ – идеальная часть изохорно-изотермического потенциала; $\alpha^r(\tau, \delta)$ – избыточная часть изохорно-изотермического потенциала; $\delta = \rho/\rho_r$; $\tau = T_r/T$; ρ_r, T_r – параметры приведения (принимались критические значения, которые для этилциклогексана равны $T_c = 609$ К и $\rho_c = 2,22$ кмоль/м³).

Критические константы этилциклогексана даны в [1]. Критическая температура принята как усредненное значение по [1]. Величина критической плотности уточнялась при определении констант ФУС.

Идеальная часть изохорно-изотермического потенциала описывается соотношением

$$\alpha^0(\tau, \delta) = \frac{h_0^0 \tau}{RT_c} - \frac{s_0^0}{R} - 1 + \ln \frac{\delta \tau_0}{\delta_0 \tau} - \frac{\tau}{R} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{c_p^0}{\tau^2} d\tau + \frac{1}{R} \int_{\tau_0}^{\tau} \frac{c_p^0}{\tau} d\tau \quad (2)$$

где $\delta_0 = \rho_0/\rho_c$ – приведенная плотность при $p_0 = 101325$ Па и температуре $T_0 = 298,15$ К; $\tau_0 = T_c/T_0$; H_0^0 – теплосодержание идеального газа; S_0^0 – энтропия идеального газа.

Для расчета $\alpha^0(\delta, \tau)$ нами предложена аппроксимационная зависимость (3), коэффициенты которой представлены в табл. 1.

$$C_p^0 = \sum_{-3}^3 c_i \left(\frac{T}{100} \right)^i, \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)} \quad (3)$$

Таблица 1. Значения коэффициентов в уравнении (3)

i	c_i
-3	-3,65507
-2	6,360016
-1	-3,177397
0	0,08161365
1	0,724008
2	-0,04012927
3	0,0006777739

Термодинамические свойства этилциклогексана описаны уравнением индивидуальной формы (4), константы которого даны в таблице 2.

$$\alpha^r(\delta, \tau) = \sum_{i=1}^5 N_k \delta^{d_k} \tau^{t_k} + \sum_{i=6}^{10} N_k \delta^{d_k} \tau^{t_k} \exp(-\delta^{l_k}) + \sum_{i=11}^{13} N_k \delta^{d_k} \tau^{t_k} \exp(-\eta_k (\delta - \varepsilon_k)^2 - \beta_k (\tau - \gamma_k)^2) \quad (4)$$

Количество термов (слагаемых) и коэффициенты уравнения (4) определялись математическим алгоритмом в процессе решения задачи условной оптимизации [2].

Таблица 2. Константы уравнения состояния (4)

i	N_k	t_k	d_k	l_k	η_k	β_k	γ_k	ε_k
1	0.04774941	0.9582	4	0				
2	1.260937	0.2081	1	0				
3	-1.868815	0.8959	1	0				
4	-0.5696857	0.7854	2	0				
5	0.1892422	0.2974	3	0				
6	-0.9036605	1.6459	1	2				
7	-0.1985102	6.383	3	2				
8	0.5171171	0.5123	2	1				
9	-0.64005	2.6579	2	2				
10	-0.02943115	1.1331	7	1				
11	1.065633	1.5783	1	-	-1.02279	-0.304	1.1914	0.71551
12	-0.5205063	1.7691	1	-	-1.36494	-1.34495	0.62663	0.9137
13	-0.1218961	4.0978	3	-	-1.0186	-1.7585	0.61691	0.70317

В научных работах по исследуемой теме для решения системы нелинейных уравнений применялись градиентные методы в комбинации с эвристическими алгоритмами [3]. Авторами применен альтернативный подход - использование алгоритмов на базе эвристических методов. Для определения коэффициентов и степеней при температуре уравнения (4) мы использовали одну из модификаций такого метода [2], который дает возможность решения подобных задач при достаточно ограниченном наборе данных. А также этот метод дает возможность моделировать термодинамическую поверхность, используя ограничения для целевой функции, что обеспечивает физически верное поведение поверхности состояния.

Одна из проблем разработки фундаментального уравнения состояния этилциклогексана заключается в дефиците экспериментальных данных в определенных диапазонах параметров состояния. Для расширения диапазона применимости уравнения массив экспериментальных данных дополнялся расчетными значениями ТДС, которые были получены обобщенными методами в рамках принципа соответственных состояний.

Расчетные значения плотности на левой и правой пограничных кривых получены в рамках подхода Филиппова [4]. Для расчета плотности газовой фазы в диапазоне температур 530 – 700 К мы применили обобщенную форму кубического уравнения состояния Кесслера и Ли [5].

Изобарная теплоемкость и плотность в критической области моделировались на основе авторских кроссоверных уравнений состояния [6] в диапазоне $|\rho/\rho_c - 1| < 0.5$. Для получения надежных расчетных значений теплоемкости в состоянии насыщений нами было использовано обобщенное ФУС для *n*-алканов [6]. Данные о давлении насыщенных паров при температурах 240 – 450 К экспериментально обоснованному интерполяционному уравнению. При температурах 470 – 600 К – расчет по двум обобщенным уравнениям [6].

3. Анализ полученных результатов

Оценка расчётных значений термодинамических величин по уравнению (1) и сравнение с экспериментальными данными дается в таблице 3. Плотность, в основном, исследована в жидкой фазе. Приоритет при разработке уравнения состояния отдавался данным Гусейнова [7]. В [7] плотность исследована в жидкой фазе методом гидростатического взвешивания с погрешностью 0,1%. Эти данные описываются с погрешностью менее одного процента. Зарубежные исследования [8] выполнены при давлениях, не превышающих 10 МПа. Как видно из таблицы 3 указанные данные описываются с отклонением не превышающим 1,8%. В свою очередь, данные в критической области, полученные по [6] описываются с отклонением 3,3 %.

Давление насыщенных паров этилциклогексана исследовалось Мокбелом [10], где нижний температурный предел исследования составил 235 К, а также Виллингхэмом [9], где верхний предел – 405 К. В [32] неопределенность экспериментальных значений оценивается в 0,2% при давлениях

свыше 1 кПа и 1,0% при более низких давлениях. Данным Виллингхэма отдавалось предпочтение при разработке уравнения состояния. Дополнительно, в регрессию включались расчетные данные [6]. Экспериментальные и расчетные данные хорошо согласуются между собой.

Плотность насыщенной жидкой фазы исследовалась зарубежными авторами. При этом, имелся недостаток данных вблизи тройной точки. Исключение составляли данные Янина [17]. За основу были приняты данные [17], так как исследования проводились в более широком диапазоне. Включались также расчетные данные, полученные по методике [4].

Изобарная теплоёмкость измерялась только при низких давлениях. Эксперимент выполнялся калориметрическим методом в работах Хуфмана [15] и Паркса [16]. Неопределенность измерения составляла ~ 0,4%. Указанные данные описываются с отклонениями, не превышающими 1%. Для оценки возможностей уравнения состояния в области критической аномалии вещества в численную процедуру поиска констант включались данные, полученные по кроссоверным уравнениям состояния [6]. Скорость звука этилциклогексана, в основном, исследована при атмосферном давлении. Как видно из таблицы 3 точность описания скорости составляет 1,8 %.

Таблица 3. Сравнение расчетных значений по ФУС с экспериментальными данными

Год	Автор, источник	Точки	Диапазон параметров		Среднее относительное отклонение (COO), %		
			T, К	p, МПа	жид.	газ	крит.
Плотность							
1983	Гусейнов [7]	84	293-523	0,1-50	0,789		
1989	Восс [8]	24	327-440	0,4-9,7	1,788		
2020	Расчет по [5]	125	530-700	0,4-4,2		2,993	
2020	Расчет по [6]	139	610-670	2,6-8,2			3,302
Давление насыщенных паров							
1945	Виллингхэм [9]	20	324-405			0,405	
1995	Мокбел [10]	19	235-427			2,855	
2018	Ахитан [11]	7	313-393			0,663	
2020	Расчет по [6]	36	240-600			0,627	
Плотность на линии насыщения жидкой фазы							
1991	Францескони [12]	10	291-305		0,192		
2018	Прак [13]	5	293-333		0,185		
1944	Гаррет [14]	8	273-310		0,255		
1977	Янин [17]	19	293-473		0,146		
2020	Расчет по [4]	49	165-608		0,274		
Плотность насыщенной газовой фазы							
2020	Расчет по [4]	5	600-608			1,180	
Теплоемкость на линии насыщения							
1977	Янин [17]	19	293-473		2,234		
2020	Расчет по [6]	12	480-590		3,709		
Теплоемкость при постоянном давлении C_p							
1949	Хуфман [15]	37	162-310	0,101	1,017		
1949	Паркс [16]	14	162-215	0,101	0,774		
2020	Расчет по [6]	137	610-670	2,6-8,2			7,643
Скорость звука							
2018	Прак [13]	5	293-333	0,101	1,864		

Отклонения псевдоэкспериментальных (расчетных) значений ТДС подтверждают их термодинамическую согласованность. Уравнение (1) разработано на «гибридном» массиве данных, но оно характеризуется численной устойчивостью и может быть экстраполировано за пределы экспериментально исследованного диапазона. Это подтверждается диаграммами состояния, представленными на рисунках 1 – 4.

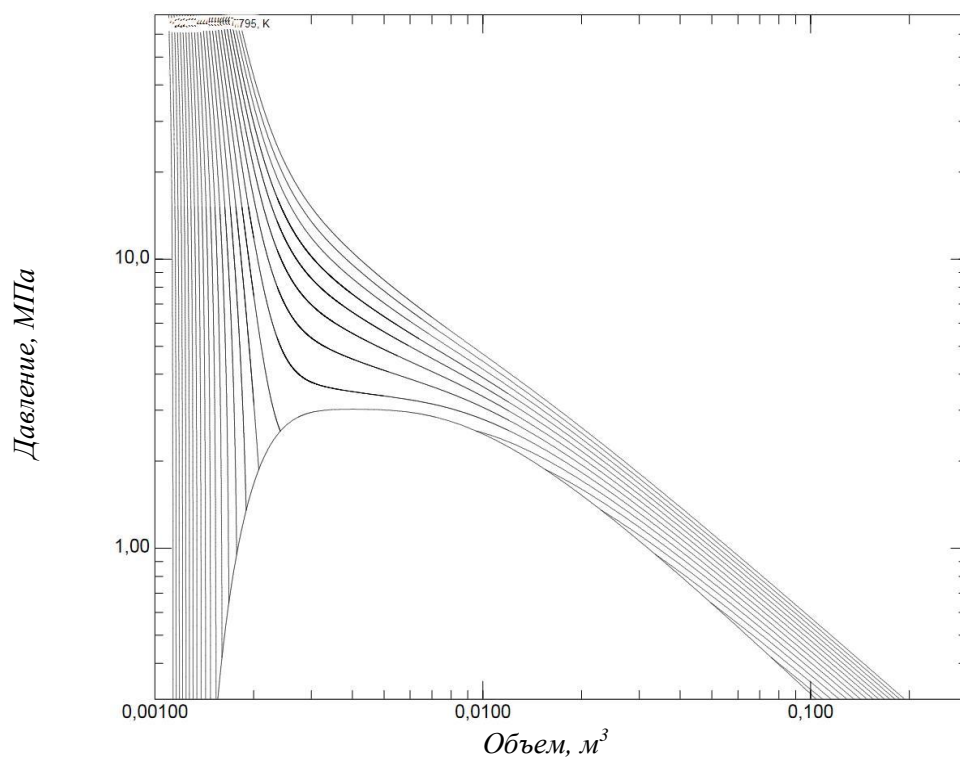


Рис. 1. Зависимость давления от удельного объема для этилциклогексана по уравнению (1)

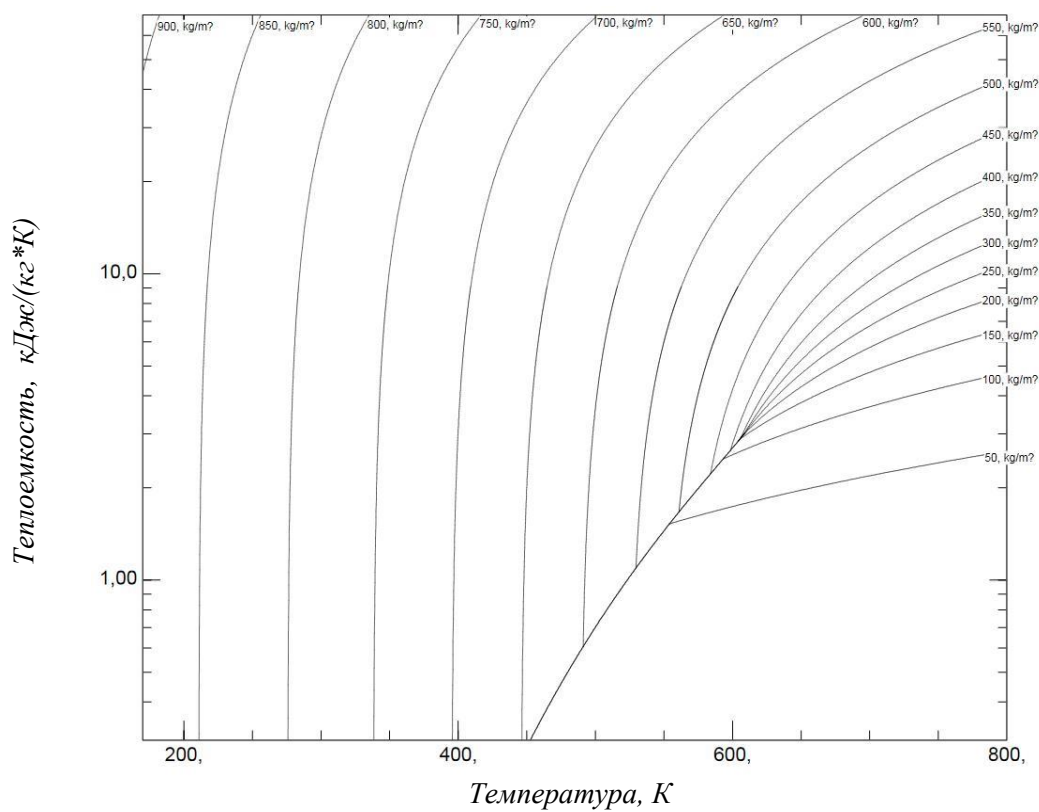


Рис. 2. Зависимость давления от температуры для этилциклогексана по уравнению (1)

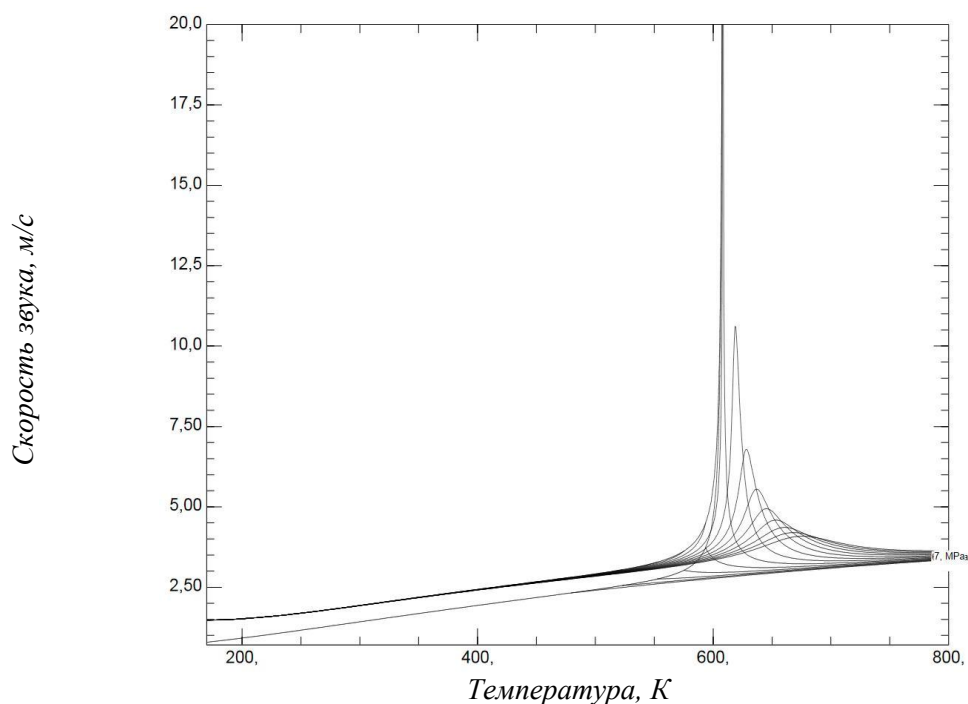


Рис. 3. Зависимость изобарной теплоемкости от температуры для этилциклогексана по уравнению (1)

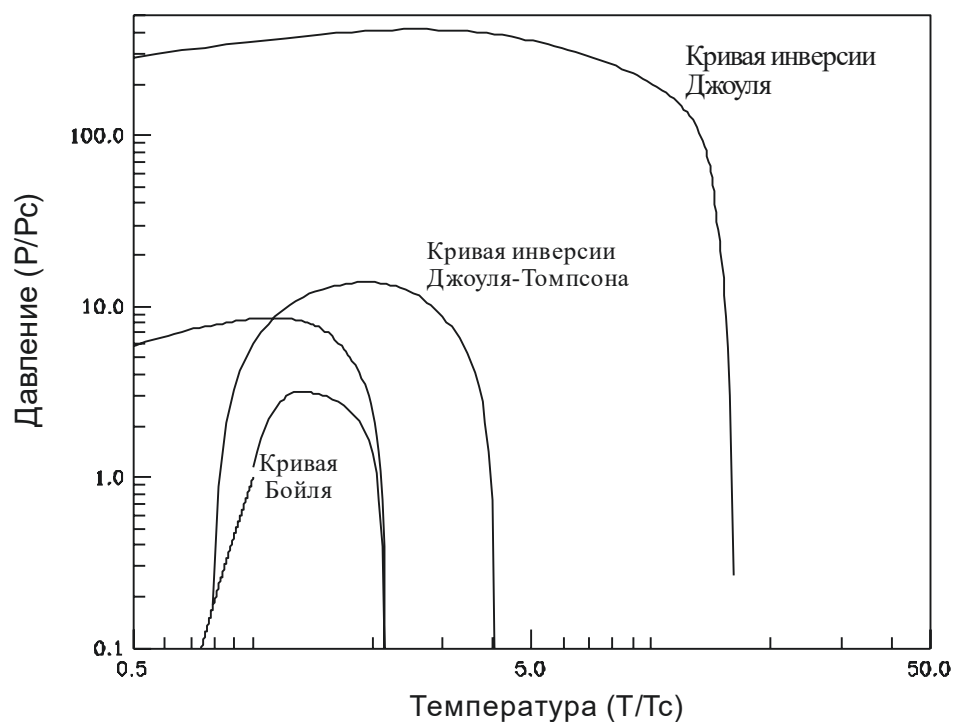


Рис. 4. Идеальные кривые для этилциклогексана, рассчитанные по уравнению состояния (1).

4. Заключение

На базе гибридного массива данных о термических и калорических свойствах, авторами доклада разработано эмпирическое фундаментальное уравнение состояния этилциклогексана. Уравнение с высокой точностью описывает все ТДС в широком диапазоне параметров состояния. Расчетные (псевдоэкспериментальные) значения ТДС получены различными независимыми прогнозными методами для восполнения дефицита экспериментальных данных в неисследованных областях параметров состояния.

Результаты анализа и сравнения показали высокую точность и согласованность расчетных и экспериментальных значений ТДС для исследуемого углеводорода. Предлагаемое авторами ФУС обладает хорошим экстраполяционным поведением, а также обеспечивает необходимую точность расчета ТДС. Полученное ФУС может быть использовано в нефтегазовом секторе для моделирования ТДС как исследуемого вещества, так и углеводородных смесей, в которых в качестве компонента присутствует этилциклогексан.

Работа выполнена при финансировании РФФИ, грант № 19-08-00135-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lemmon, E.W., Bell, I.H., Huber, M.L., McLinden, M.O. NIST Standard Reference Database 23: Reference Fluid Thermodynamic and Transport Properties-REFPROP, Version 10.0, National Institute of Standards and Technology, Standard Reference Data Program, Gaithersburg, 2018.
2. Lemmon, E.W. Thermodynamic Properties of R-227ea, R-365mfc, R-115, and R-1311 /Eric W. Lemmon and Roland Span // Journal of Chemical & Engineering Data. – 2015. – Vol. 60 (12). P. 3745-3758.
3. Александров, И.С. Фундаментальные уравнения состояния углеводородов нефти: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2012. – 20 с.
4. Жидкие углеводороды и нефтепродукты / Под ред. М.И. Шахпоронова, Л.П. Филиппова. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 192 с.
5. Munoz, F. New parameters for the Lee-Kesler correlation improve liquid density predictions / F. Muñoz, R. Reich // Fluid Phase Equilibria. – 1983. – Vol. 13. – P. 171-178.
6. Герасимов А.А. Калорические свойства нормальных алканов и многокомпонентных углеводородных смесей в жидкой и газовой фазах, включая критическую область: Дис...докт. техн. наук Калининград. 2000.
7. Guseinov, S. O.; Shakhverdiev, A. N.; Naziev, Y. M. // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved., Neft Gaz – 1983. –Vol. 26. –P. 50-52.
8. Voss, S. F. Thermal conductivity and heat capacity of synthetic fuel components/ Voss, S. F.; Sloan, E. D. //Int. J. Thermophys. – 1989. –Vol. 10. –P. 1029-1040.
9. Willingham, C.B. Vapor pressures and boiling points of some paraffin, alkylcyclopentane, alkylcyclohexane, and alkylbenzene hydrocarbons / C.B. Willingham, W.J. Taylor, J.M. Pignocco, et. al. // J. Res. Natl. Bur. Stand. – 1945. – V.35. – P. 219 – 244.
10. Mokbel, I.; Rauzy, E.; Loiseleur, H.; Berro, C.; Jose, J. Vapor pressures of 12 alkylcyclohexanes, cyclopentane, butylcyclopentane and trans-decahydronaphthalene down to 0.5 Pa. Experimental results, correlation and prediction by an equation of state // Fluid Phase Equilib. – 1995. –Vol. 108. –P. 103-120.
11. Ahitan, Sourabh; Shaw, John M. Bubble Pressure Measurement and Prediction for n-Hexadecane and n-Eicosane + Cyclohexane, Methylcyclohexane, and Ethylcyclohexane Binary Mixtures from 303.15 to 393.15 K //J. Chem. Eng. Data. – 2018. –Vol. 63. –P. 1797-1809.
12. Francesconi, R. Excess enthalpies of binary mixtures containing 1,3-dioxolane and cyclic compounds/ Francesconi, R.; Comelli, F. //Thermochim. Acta. – 1991. –Vol. 179. –P. 149-155.
13. Prak, Dianne J. Luning; Mungan, Annabel L.; Cowart, Jim S.; Trulove, Paul C. Densities, Viscosities, Speeds of Sound, Bulk Moduli, Surface Tensions, and Flash Points of Binary Mixtures of Ethylcyclohexane or Methylcyclohexane with n-Dodecane or n-Hexadecane at 0.1 MPa //J. Chem. Eng. Data. – 2018. –Vol. 63.–P. 1642-1656.
14. Garrett, A. B. Scientific report //Am. Pet. Inst. Res. Proj. 45.- 1944. - Ohio State Univ.
15. Huffman, H. M. Low Temperature Thermal Data on Eight C₈H₁₆ Alkylcyclohexanes/ Huffman, H. M.; Todd, S. S.; Oliver, G. D. //J. Am. Chem. Soc. – 1949. –Vol. 71. –P. 584-592.
16. Parks, G. S. Thermal Data on Organic Compounds. XXV. Some Heat Capacity, Entropy and Free Energy Data for Nine Hydrocarbons of High Molecular Weight/ Parks, G. S.; Moore, G. E.; Renquist, M. L.; Naylor, B. F.; McClaine, L. A.; Fujii, P. S.; Hatton, J. A. //J. Am. Chem. Soc. – 1949. – Vol. 71. –P. 3386-3389.
17. Янин Г.С. Экспериментальное исследование изобарной теплоемкости органических жидкостей и их смесей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Грозный, 1977. – 24 с.

THERMODYNAMIC PROPERTIES OF ORGANIC ENERGY CARRIER COMPONENTS. ETHYLCYCLOHEXANE

¹Igor S. Alexandrov, D.Sc., associate professor

²Anatoly A. Gerasimov, D.Sc., professor

³Andrey Y. Plavich, Ph.D., associate professor

¹ FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹igor.aleksandrov@klgtu.ru

A critical review and analysis of the experimental base on the thermodynamic properties of ethylcyclohexane is carried out. The analysis showed that experimental studies were carried out only in the liquid phase at temperatures up to 500 K. The data arrays necessary for the development of an individual equation of state in the unexplored regions of parameters were obtained by calculation methods. Based on the heterogeneous data arrays critically evaluated by the authors, an equation of state for the technically important naphthene - ethylcyclohexane, has been developed.

УДК 621.45; 034.3

РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХОДА ИГЛЫ РАСПЫЛИТЕЛЕЙ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

¹Волкова Лариса Юрьевна канд. техн. наук, доцент, зам. декана ФСЭ по учебной работе

²Закиров Сарвар Зафарович, аспирант

³Дорош Кирилл Сергеевич, аспирант

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹larisa.volkova@klgtu.ru; ²sarvar.zakirov@klgtu.ru;

³kirill.dorosh@klgtu.ru

Изложены основные неисправности форсунок судовых дизелей при увеличении хода иглы на 50 % от нормативного значения – повышение температуры носика распылителя, прорыв цилиндрических газов в полость распылителя и образование кокса, уменьшение давления впрыскиваемого топлива. Предложен способ определения максимального хода иглы путем измерения длины хвостовика иглы и его условного уменьшения при посадке иглы на седло. Показано устройство и принцип действия прибора для определения максимального хода иглы распылителей. Выполнены чертежи основных деталей прибора для определения хода иглы распылителей с диаметром от 8 до 18 мм судовых дизелей. Приведена методика определения перемещения (хода) иглы распылителей форсунок дизелей при помощи разработанного прибора.

Введение

Основным узлом форсунки для впрыска топлива является распылитель, от состояния которого зависит надежность, экономичность двигателя и токсичность отработавших газов [1]. Главными параметрами распылителя являются максимальный ход иглы, давление начала открытия иглы, эффективное проходное сечение. Оптимальные значения указанных параметров выбирается при доводке двигателя и должны соответствовать минимальному расходу топлива и токсичности отработавших газов, а также высокой стойкости против образования кокса в сопловых отверстиях.

В работе [2] указано, что изменение максимального хода иглы с 0,3 мм до 0,5 мм увеличивает температуру носика распылителя со 170 °С до 250 °С в результате повышения цикловой подачи топлива и прорыва цилиндрических газов.

Не стоит забывать, что образование коксовых отложений в распылителях форсунок образуется в результате прорыва газов в камеру распылителя, увеличивая температуру внутри камеры. Это происходит в результате изменения давления в полости форсунки, за которым не успевает отработать игла. Посадка иглы в этом случае начинается в момент давления топлива в камере форсунки меньшего чем давления газов в цилиндре двигателя [2, 3].

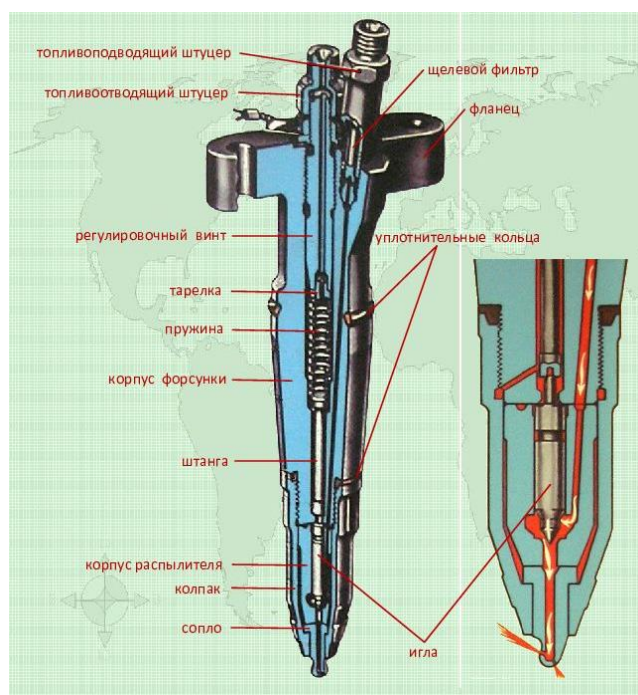
После окончания впрыскивания внутренние поверхности распылителя остаются смоченные топливом, которое под воздействием высокой температуры (200–250 °С) за период между впрысками преобразуется в лаковую пленку. Сажа, частицы алюминия, железа и кремния, контактируя с лаковой пленкой, «прилипают» к ней, образуя на поверхности металла коксовые отложения.

В процессе длительной эксплуатации дизеля максимальный ход иглы увеличивается по причине пластической деформации металла в посадочном конусе иглы и торце корпуса форсунки, который ограничивает подъем иглы (наклёп, сжатие, сдвиг и срез металла). Увеличение максимального хода иглы на 50% от номинального значения считается неисправным состоянием распылителя, а более 70% – отказом [2]. По этой причине необходим контроль изменения хода иглы распылителя. В данной работе предлагается конструкция прибора и его применение при определении хода иглы распылителей судовых дизелей.

Основная часть

Форсунки тепловозных и вспомогательных судовых дизелей. На рис. 1 приведен разрез форсунки двигателя типа 8ЧН 26/26 (а), который может быть применен в качестве тепловозного или вспомогательного судового дизеля [4, 6]. На рис.1 также показан корпус распылителя с иглой без соплового наконечника и вид посадочного конуса нового распылителя (б) и изношенного (в). Первоначальная ширина посадочного пояска нового распылителя не должна превышать 0,1 – 0,2 мм [4].

Следует отметить, что при росте хода иглы увеличивается ширина пояска посадочного конуса, который можно сравнить с местным сопротивлением. Игла перемещается к сопловому наконечнику. При подъеме иглы топливо под действием перепада давлением движется через данное местное сопротивление (цилиндрическая щель усеченного конуса) и теряет свою кинетическую энергию. Давление топлива за местным сопротивлением снижается, что приводит к нарушению баллистики факела и мелкости распыливания топлива. Процесс сгорания топлива ухудшается, снижается мощность дизеля, увеличивается расход топлива и токсичность отработавших газов.



а)

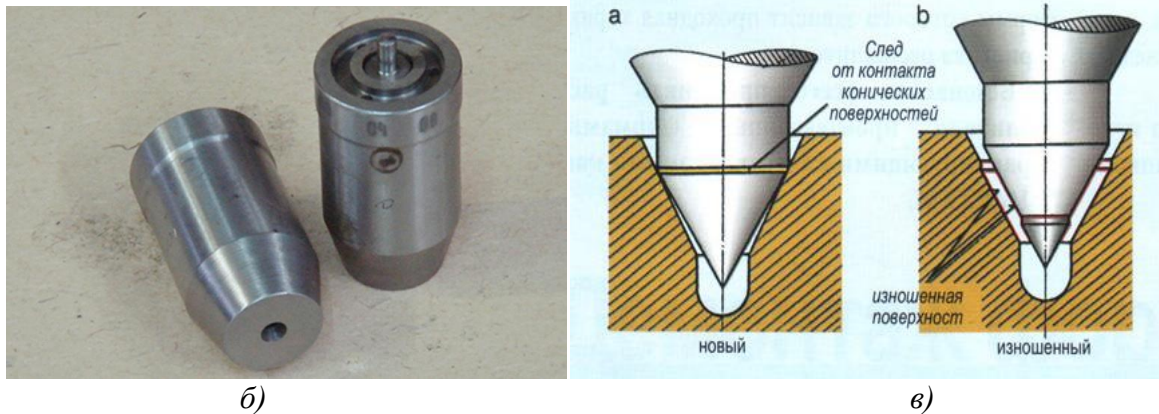


Рис. 1. Общий вид форсунки дизеля 8ЧН 26/26 (а), корпус распылителя с иглой (б), вид посадочного конуса нового распылителя и изношенного (в)

Технического состояния распылителя с достаточной для практики точностью можно определить по изменению его максимального хода. В процессе эксплуатации контроль хода иглы распылителей возможен индуктивным датчиком [2] при установке его в корпус форсунки или применения прибора для определения максимального хода иглы распылителя форсунки при её ремонте.

Для конструктивной разработки прибора при определении максимального хода иглы распылителя форсунки необходимо знать диаметр иглы в цилиндрической части, диаметр хвостовика, его длину и максимальны ход иглы до торца корпуса форсунки. В табл. 1 даны основные характеристики форсунки дизеля типа 8ЧН 26/26.

Таблица 1

Характеристики форсунки и распылителя дизеля типа 8ЧН 26/26

Параметр, обозначение и единицы величины	
1. Давление начала открытия иглы $P_{фо}$, МПа	34,4
2. Диаметр иглы в цилиндрической части и хвостовика, мм	8/4
3. Диаметр иглы перед запорным конусом, мм	6,0
4. Длина хвостовика, мм	6,5
5. Ход иглы до торца корпуса форсунки, мм	0,75
6. Число сопловых отверстий	9,0
7. Диаметр сопловых отверстий, мм	0,39

При увеличении хода иглы более допустимого значения нарушается процесс топливоподачи, повышается расход топлива и увеличивается токсичность отработавших газов, происходит прорыв цилиндрических газов в полость распылителя и образование кокса в сопловых отверстиях [3, 4].

Самый простой, но не точный и трудоемкий метод определения максимального хода иглы, является замер длины хвостовика до торца иглы штангенциркулем (например, $l_{хи} = 6,5$ мм) [4, 5]. Затем игла вставляется в корпус распылителя до упора в посадочный конус и измеряется длина хвостовика до торца корпуса иглы (например, $l_{хк} = 5,8$ мм). Если в торце корпуса форсунки имеется углубление от ударов иглы, то дополнительно определяется ее величина (например, $h_{кф} = 0,1$ мм).

Максимальный ход иглы определяется по формуле

$$h_{\max} = (l_{хи} - l_{хк}) + h_{кф} = (6,5 - 5,8) + 0,1 = 0,8 \text{ мм.} \quad (1)$$

Форсунки судовых дизелей. Использование в них сменных наконечников распылителей в форсунках является ключевой особенностью малооборотных дизельных двигателей [4, 6]. Это необходимо при работе двигателя на тяжёлом топливе (мазуте). Такое устройство позволяет заменять сопловый наконечник при его изнашивании, при этом не требуя дорогостоящего ремонта или приобретения нового комплекта форсунок. Также для улучшения распыливания вязкого топлива применяются многоструйные распылители, которые способствуют улучшению смесеобразования в цилиндре двигателя.

Диаметр направляющей части иглы может лежать в пределах 12 – 18 мм при ходе иглы от 1,6 до 1,8 мм. Ход иглы ограничивается специальным упором в корпусе форсунки.

В процессе диагностирования топливной аппаратуры малооборотных дизелей необходимо знать ее реальные конструктивные и регулировочные параметры.

В табл. 2 приведены основные параметры топливной аппаратуры МОД судовых дизелей, выпускаемые ОАО «Брянский машиностроительный завод» [4,7].

Условное обозначение судового дизеля 6-ДКРН 60/229 следующее: 6 – число цилиндров, Д – двухтактный; К – крейцкопфный; Р – реверсивный; Н – с наддувом; 60/229 – диаметр цилиндра и ход поршня в см. Крейцкопф – ползун. Цилиндровая мощность 2044 кВт, цикловая подача 56 см^3 , диаметр и ход плунжера 63/65,3 мм.

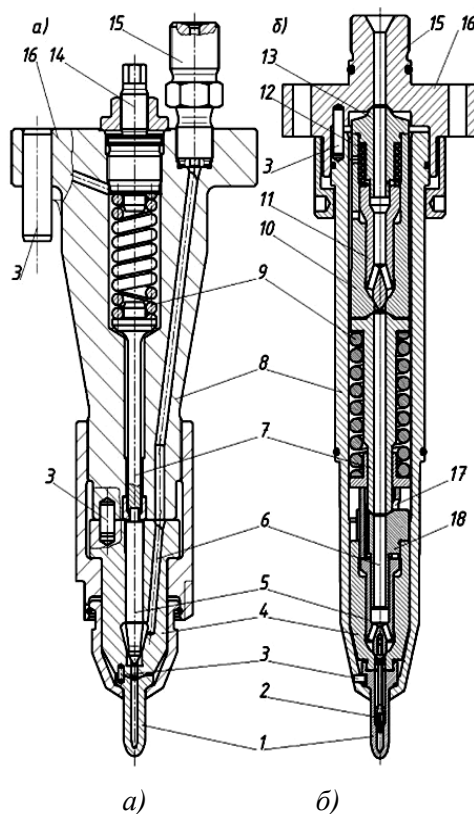


Рис. 2. Форсунки судовых малооборотных двигателей:
а) – дизели серии RTA 58 T фирмы Wartsila; б) – дизели серии MC фирмы MAN

Таблица 2

Основные параметры распылителей судовых дизелей

Параметры	ДКРН 26/98	ДКРН 35/105	ДКРН 42/136	ДКРН 60/229	ДКРН 60/195
1. Давление начала впрыскивания, МПа	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$	$30^{+2,5}$
2. Диаметр иглы, мм	12,5	12,5	12,5	17,0	17,0
3. Ход иглы, мм	1,6	1,6	1,6	1,75	1,75
4. Количество и диаметр отверстий распылителя, мм	5/0,5	5/0,67	4/0,9	6/1,02	6/1,02

Для контроля максимального хода иглы распылителей с диаметром направляющей от 8 до 18 мм предлагается прибор с набором штоков, выходной диаметр которых зависит от диаметра направляющей части иглы, диаметра и длины хвостовика.

На рис. 3 показан общий вид прибора (приспособления) для определения максимального хода иглы автомобильных двигателей [3], который явился прототипом прибора для оценки хода иглы форсунок судовых дизелей.

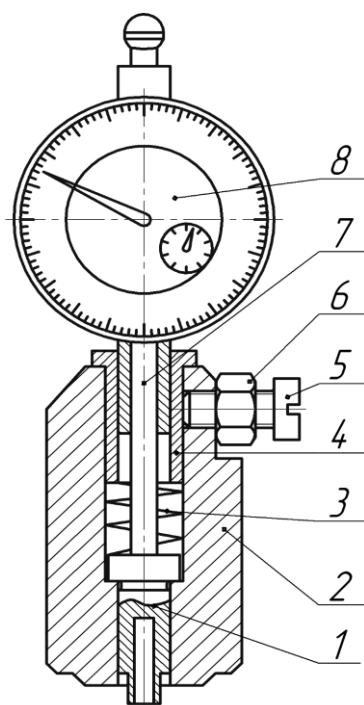


Рис. 3. Приспособление для определения хода иглы:
 1 – шток; 2 – корпус приспособления; 3 – пружина; 4 – разрезная крепежная втулка;
 5 – винт зажимной; 6 – контргайка; 7 – подвижный шток; 8 – индикатор

Методика определения максимального хода иглы распылителя следующая. Перед началом измерения торцы штока 1 и корпуса 2 устанавливаются в равное положение (например, при помощи использования ровной поверхности притирочной плиты). Положение стрелки индикатора 8 устанавливается на нуль путем поворота его шкалы (наружная накатанная поверхность) в левую или правую сторону. В отверстие штока 1 диаметром $3,0^{+0,1}$ мм (например, диаметр иглы 6 мм) и глубиной 10 мм вводится хвостовик иглы и плотно прижимается приспособление к торцевой поверхности корпуса распылителя. Шток 1 опускается на глубину хода иглы форсунки дизеля (например, 0,3 мм). По показанию стрелки индикатора определяют величину хода иглы. При износе опорной поверхности корпуса форсунки от ударов торца распылителя измеряют глубину его деформации и суммируют ее с ходом иглы.

Наибольший диаметр циферблата индикатора 8 равен 56 мм. Максимальный ход подвижного штока 7 индикатора соответствует 10 мм. На циферблате имеется малая стрелка и шкала с ценой деления 1 мм (полная шкала до 10 мм). Подвижный шток может выдвигаться до 10 мм. Большая стрелка показывает выдвигание штока 7 в сотых долях мм. Одно деление шкалы циферблата равно 0,01 мм. Если при измерении хода иглы большая стрелка указывает на 30, это соответствует 0,3 мм. Относительная погрешность данного измерения составит 0,3 % [4].

Разработка основных деталей прибора для определения хода иглы распылителей судовых дизелей. Главными деталями прибора для измерения хода иглы является корпус (рис. 4) и шток (рис. 5). Материалом корпуса и штока может быть сталь марки от 20 до 40. Для определения характерных размеров (диаметров) штока при определении максимального хода иглы приведен рис. 6 и табл. 2.

Корпус. Внешний диаметр корпуса 2 (см. рис. 3 и 4) равен 40 мм, высота (длина) 52 мм. Наибольший диаметр отверстия корпуса 2 равен $20,5^{+0,1}$ мм, глубина 36 мм. Наименьший диаметр корпуса 2 равен $17^{+0,1}$ мм, длиной 16 мм.

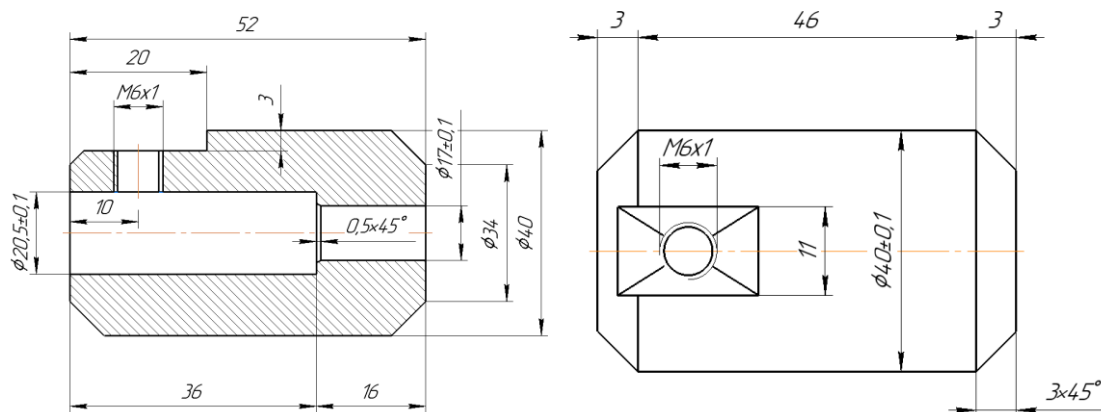


Рис. 4. Корпус прибора для измерения максимального хода иглы

Шток. Общая длина штока l (см. рис. 3 и рис. 5 а) равна $24^{+0,1}$ мм, наибольший (верхний) диаметр равен $20^{+0,1}$ мм и шириной 3 мм, средний внешний диаметр $16,6^{+0,1}$ мм, длиной 21 мм (для измерения хода иглы диаметром 17 – 18 мм). Диаметр отверстия для входа хвостовика иглы 8 мм, глубина 10 мм.

Для измерения хода иглы диаметром 12,5 мм диаметр штока 16,6 мм от торца на расстоянии 5 мм протачивается диаметр 16,6 мм до диаметра 12 мм (рис. 5 б). Внутренний диаметр отверстия штока, в который входит хвостовик иглы, равен $6,0^{+0,1}$ мм. Для определения хода иглы с диаметром направляющей менее 8 мм уменьшается диаметр проточки и диаметр внутреннего отверстия.

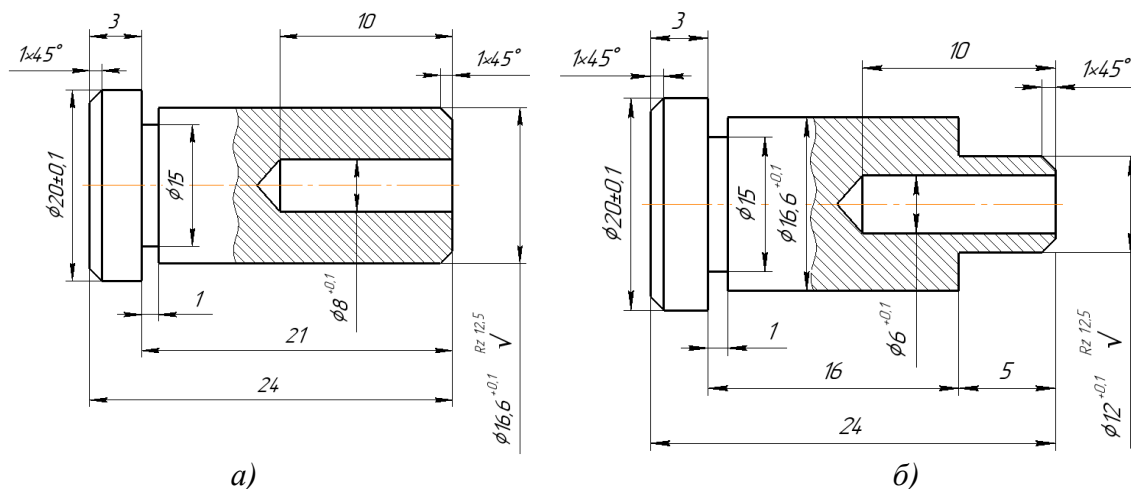


Рис. 5. Шток для измерения хода с диаметром направляющей иглы 17,0 – 18,0 мм (а) и 12,5 – 15,0 мм (б)

Для определения размеров внешних и внутренних диаметров штока при измерении максимального хода иглы для вспомогательных и главных судовых дизелей с диаметром иглы распылителя форсунки (от 8 до 18 мм) и хвостовика (от 4 до 8 мм) рекомендуется рис. 6 и данные табл. 2. Глубина отверстия $\Phi 4$ при необходимости может быть увеличена.

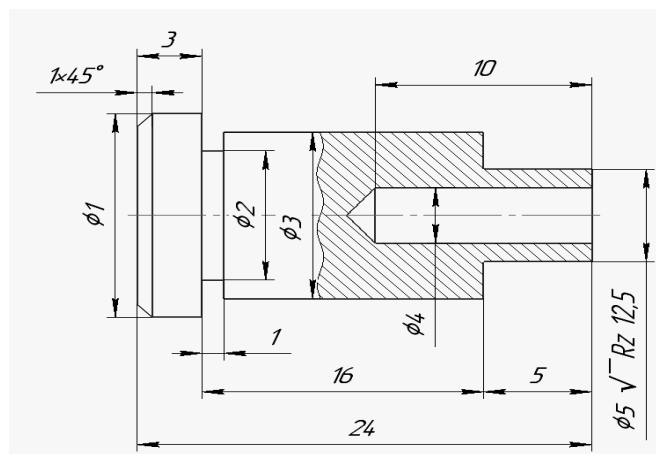


Рис. 6. Условный чертеж штока (разные варианты) для измерения хода с диаметром иглы распылителя от 8,0 до 18 мм

Таблица 2

Размеры диаметров штока прибора для измерения максимального хода иглы при ее диаметре от 8 до 18 мм.

Диаметр иглы	Φ1, мм	Φ2, мм	Φ3, мм	Φ4, мм	Φ5, мм
1. 8,0 мм	20 ^{+0,1}	15 ^{+0,1}	16,6 ^{+0,1}	4,2 ^{+0,1}	7,7 ^{-0,1}
2. 12,5 мм	20 ^{+0,1}	15 ^{+0,1}	16,6 ^{+0,1}	6,0 ^{+0,1}	12,0 ^{-0,1}
3. 17,0 мм	20 ^{+0,1}	15 ^{+0,1}	16,6 ^{+0,1}	8,0 ^{+0,1}	16,6 ^{-0,1}
4. 18,0 мм	20 ^{+0,1}	15 ^{+0,1}	16,6 ^{+0,1}	8,0 ^{+0,1}	16,6 ^{-0,1}

Втулка разрезная крепежная 4 (см. рис. 3). Общая длина втулки 22 мм. Наибольший наружный диаметр 26 мм, шириной 4 мм. Малый наружный диаметр 20 мм, длиной 18 мм. Внутренний диаметр втулки для крепления индикатора равен 8^{+0,1} мм. Втулка разрезана, с одной стороны, шириной 3 мм на всю длину 22 мм. С противоположной стороны торца наибольшего диаметра 26 мм необходим также разрез шириной 3 мм длиной 10 мм. Размеры втулки уточнить с учетом посадочного диаметра индикатора.

Пружина. Пружина 3 (см. рис. 3) имеет длину в свободном состоянии 20 мм, диаметр проволоки 1 мм. Наружный диаметр пружины 19 мм, шаг 3 мм, жесткость 2 Н/мм, материал сталь 65Г. В собранном состоянии прибора пружина 3 будет сжата. Для размещения пружины в полости длиной 15 мм [36 – (18+3)] = 15 мм ее длину, равную 20 мм, необходимо сжать на 5 мм. Сила пружины в сжатом состоянии будет равна

$$F = c \cdot \Delta x = 2 \cdot 5 = 10 \text{ Н}, \quad (2)$$

где c – жесткость пружины, Н/мм; Δx – величина сжатия пружины, мм.

Размеры остальных деталей прибора для измерения хода иглы уточняются в зависимости от конструкции распылителей форсунок дизелей.

Заключение

1. Рассмотрены неисправности форсунок судовых дизелей при увеличении хода иглы на 50 % и более от исходного значения, что способствует повышению температуры носика распылителя, прорыву газов в полость распылителя и образованию кокса, уменьшению давления впрыскиваемого топлива.

2. Предложен способ определения максимального хода иглы путем измерения длины хвостовика иглы и разности его условного размера при посадке иглы на седло.

3. Показано устройство, принцип действия прибора и приведена методика определения максимального хода иглы распылителей.

4. Выполнены чертежи основных деталей прибора для определения хода иглы распылителей с диаметром от 8 до 18 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трусов, В.И. Форсунки автотракторных дизелей / В.И. Трусов, В.П. Дмитриенко, Г.Д. Масляный. – М.: Машиностроение, 1977. – 167 с.

2. Макушев, Ю.П. Системы подачи топлива и воздуха дизелей: учебное пособие / Ю.П. Макушев, А.П. Жигadlo, Л.Ю. Волкова. – Омск: СибАДИ, 2017. – 208 с.

3. Володин, А.И. Причины образования кокса в сопловых отверстиях распылителей форсунок дизелей / А.И. Володин, Л.Ю. Михайлова (Волкова), Ю.П. Макушев // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. Омский гос. техн. ун-т. Омск, 2013. №1 (117). – С. 59 – 63.

4. Конструктивные особенности систем подачи топлива современных дизелей: учебное пособие / Ю.П. Макушев, А.П. Жигadlo, Л.Ю. Волкова. – Омск: СибАДИ, 2020. – 210 с.

5. Чиркин, А.П. Дизельная топливная аппаратура. Справочник / А.П. Чиркин, И.И. Резник. – М.: Машиностроение, 1963. – 169 с.

6. Конкс, Г.А. Современные подходы к конструированию поршневых двигателей: учебное пособие / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. – М.: «Моркнига», 2009. – 388 с.

7. Мировое судовое дизелестроение. Концепции конструирования, анализ международного опыта: учебное пособие / Г.А. Конкс, В.А. Лашко. – М.: Машиностроение, 2005. – 512 с.

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR DETERMINING THE NEEDLE STROKE OF MARINE DIESEL SPRAYERS

¹Volkova Larisa Yurievna, kand. Techn. Sciences, associate Professor

²Zakirov Sarvar Zafarovich, postgraduate student

³Dorosh Kirill Sergeevich, postgraduate student

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹larisa.volkova@klgtu.ru; ²sarvar.zakirov@klgtu.ru;

³kirill.dorosh@klgtu.ru

The main malfunctions of the injectors of marine diesel engines with an increase in the needle stroke by 50 % of the standard value are described – an increase in the temperature of the nozzle of the sprayer, a breakthrough of cylinder gases into the cavity of the sprayer and the formation of coke, a decrease in the pressure of the injected fuel. A method for determining the maximum stroke of the needle by measuring the length of the needle shank and its conditional reduction when the needle is placed on the saddle is proposed. The device and the principle of operation of the device for determining the maximum stroke of the spray needle are shown. Drawings of the main parts of the device for determining the needle stroke of sprayers with a diameter of 8 to 18 mm of marine diesel engines are made. The method of determining the movement (stroke) of the needle of the diesel nozzle atomizers using the developed device is given.

КОМПЛЕКС ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ КАЧЕСТВЕННОЕ СГОРАНИЕ ТОПЛИВА В РАБОЧИХ ЦИЛИНДРАХ

¹Ковальчук Леонид Игнатьевич, д-р техн. наук, профессор

²Ткаченко Кирилл Сергеевич, аспирант кафедры судовых энергетических установок

¹Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹bgarf1988@inbox.ru

²ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ²tkachenko.k.s@mail.ru

Приведен комплекс экспериментально-теоретических моделей для функционального параметрического диагностирования компонентов судовых дизелей, обеспечивающих качественное сгорание топлива в рабочих цилиндрах. Даны рекомендации по использованию моделей для решения диагностических задач, обсуждаются результаты практического диагностирования.

Введение

По современным представлениям, существенное повышение эффективности эксплуатации судовых энергетических установок, может быть достигнуто посредством внедрения в эксплуатацию, системы технического обслуживания по фактическому состоянию, при котором сроки и содержание ремонтно-профилактических работ устанавливаются на основе оценки действительного состояния отдельных компонентов двигателя. Анализ надежности судовых дизелей показывает, что внедрение системы предполагает наличие методов и средств диагностики технического состояния двигателей, которые были бы достаточно эффективны и просты для использования в условиях реальной эксплуатации двигателя. Сущность этих методов заключается в том, что техническое состояние двигателя и его отдельных компонентов, определяется в процессе функционирования двигателя, а так же операций по измерению информативных параметров и математических вычислений, связанных с решением диагностических задач, производящихся по определенным моделям.

При разработке таких моделей обычно исходят из следующих предпосылок: в систему функционального диагностирования, в первую очередь должны включаться компоненты двигателя, определяющие качественное сгорание топлива в рабочих цилиндрах двигателя.

К числу компонентов функционального диагностирования, в первую очередь относят рабочие процессы в цилиндрах, в системах воздухообеспечения и отработавших газов, а также в системах топливоподачи. Этот вывод основывается на том, что мощностные и экологические показатели двигателей, как правило определяются качеством протекания рабочих процессов, в компонентах двигателя.

Основная часть

Теоретические принципы и алгоритмы формирования экспериментально-теоретических моделей для функционального диагностирования технического состояния рабочих цилиндров, систем воздухообеспечения и отработавших газов судовых дизелей изложены в работах [1, 2, 5]. Согласно этим принципам, комплекс экспериментально-теоретических моделей должны формироваться для каждого конкретного двигателя, что позволяет учесть особенности протекания рабочих процессов в компонентах, подлежащие функциональному диагностированию.

Для судового дизеля 6ЧН 25/34-3 комплекс моделей для контроля технического состояния названных компонентов имеет вид:

1. Для контроля качества сгорания топлива в рабочих цилиндрах рекомендуется использовать систему следующих уравнений:

$$t_{\text{гор}}^1 = (-3.8625 * n_0^2 + 9.2073 * n_0 - 6.2251) * h_0^2 + (2.7800 * n_0^2 - 8.0892 * n_0 + 7.3663) * h_0 + (0.2300 * n_0^2 + 0.9476 * n_0 - 1.3576); \quad (1)$$

$$t_{\text{гор}}^2 = (-11.2870 * n_0^2 + 23.0870 * n_0 - 12.3200) * h_0^2 + (12.3360 * n_0^2 - 25.2750 * n_0 + 14.410) * h_0 + (-3.2025 * n_0^2 + 6.8727 * n_0 - 3.5649); \quad (2)$$

$$t_{\text{гор}}^3 = (-8.8975 * n_0^2 + 17.9770 * n_0 - 9.7956) * h_0^2 + (10.0850 * n_0^2 - 20.3960 * n_0 + 12.1050) * h_0 + (-2.6650 * n_0^2 + 5.6359 * n_0 - 3.0660); \quad (3)$$

$$t_{\text{гор}}^4 = (-7.9100 * n_0^2 + 17.1740 * n_0 - 9.6694) * h_0^2 + (6.8600 * n_0^2 - 16.0260 * n_0 + 10.4080) * h_0 + (-0.7625 * n_0^2 + 2.8269 * n_0 - 1.8519); \quad (4)$$

$$t_{\text{гор}}^5 = (-16.1970 * n_0^2 + 35.9870 * n_0 - 19.9430) * h_0^2 + (14.1250 * n_0^2 - 35.0740 * n_0 + 21.7750) * h_0 + (-1.5000 * n_0^2 + 6.3550 * n_0 - 4.5003); \quad (5)$$

$$t_{\text{гор}}^6 = (-16.3950 * n_0^2 + 35.2730 * n_0 - 19.4980) * h_0^2 + (12.9300 * n_0^2 - 31.3310 * n_0 + 19.9940) * h_0 + (-0.6900 * n_0^2 + 4.3364 * n_0 - 3.6266); \quad (6)$$

2. Для контроля технического состояния проточных частей системы воздухообеспечения посредством модель:

$$P_{\text{Кор}} = (-3.905 * n_0^2 + 8.6485 * n_0 - 2.6613) * h_0^2 + (2.205 * n_0^2 - 4.2905 * n_0 + 0.5816) * h_0 + (-0.1000 * n_0^2 + 0.2620 * n_0 + 0.2565); \quad (7)$$

3. Для контроля технического состояния проточных частей системы отработавших газов рекомендуется использовать модель:

$$P_{\text{Кор}} = (27,365 * n_0^2 - 43,963 * n_0 + 18,489) + (-36,41 * n_0^2 + 60,788 * n_0 + 25,704) * h_0 + (-0.1000 * n_0^2 + 0.2620 * n_0 + 0.2565); \quad (8)$$

В моделях (1), (2) и (3) приняты следующие обозначения информативных параметров:

$t_{\text{гор}}$ – безразмерная температура отработавших газов на выходе из цилиндра;

n_0 – безразмерная частота вращения коленчатого вала двигателя;

$P_{\text{гор}}$ – безразмерное давление отработавших газов за турбиной;

$P_{\text{кор}}$ – безразмерное давление наддувочного воздуха перед впускными органами двигателя;

h_0 – безразмерная величина нагрузки;

Для определения численных значений параметров моделей (1), (2) и (3) использованы результаты стендовых испытаний нового двигателя 6ЧН 25/34-3 по серии нагрузочных характеристик в диапазоне частот вращения коленчатого вала от

$n_{\text{н}} = 500$ мин⁻¹ до $n_{\text{мин}} = 350$ мин⁻¹ с шагом $\Delta n = 50$ мин⁻¹. В вычислениях использованы безразмерные значения информативных параметров, которые определяются по соотношениям:

$$t_{g_0} = \frac{t_g}{t_{g_{\text{н}}}}; n_o = \frac{n}{n_{\text{н}}}; P_{g_{2o}} = \frac{P_{g2}}{P_{g_{2\text{н}}}}; n_o = \frac{n}{n_{\text{н}}}; P_{g_{2o}} = \frac{P_{g2}}{P_{g_{2\text{н}}}}$$

где индексом «н» обозначены нормирующие параметры, значения которых в данном случае приняты следующими:

$$t_{g_{\text{н}}} = 390 \text{ } ^\circ\text{C}, n_{\text{н}} = 500 \text{ мин}^{-1}, P_{\text{кн}} = 0,15 \text{ Мпа}, h_{\text{н}} = 4,9; P_{2\text{н}} = 0,12 \text{ Мпа}$$

В приведённом комплексе модели (1) является основными. По средствам только этих моделей возможно контролировать протекание процессов сгорания топлива в рабочих цилиндрах и определять возникшие неисправности на ранней стадии их проявления, в ряде случаев, без привлечения дополнительной информации, получаемой посредством моделей (2) и (3). Если для конкретного двигателя сформирован комплекс экспериментально - теоретических моделей типа (1), (2), (3), то контроль качества процессов, протекающих в рабочих цилиндрах, системах воздухообеспечения и отработавших газов производится по алгоритм описанному в (2).

На рисунке 1 приведены результаты функционального диагностирования процессов в рабочих цилиндрах двигателя 6ЧН 25/34-3 посредством эталона $t_{g_{o\text{э}}} = f(t_{\text{гор}})$ и моделей (1).

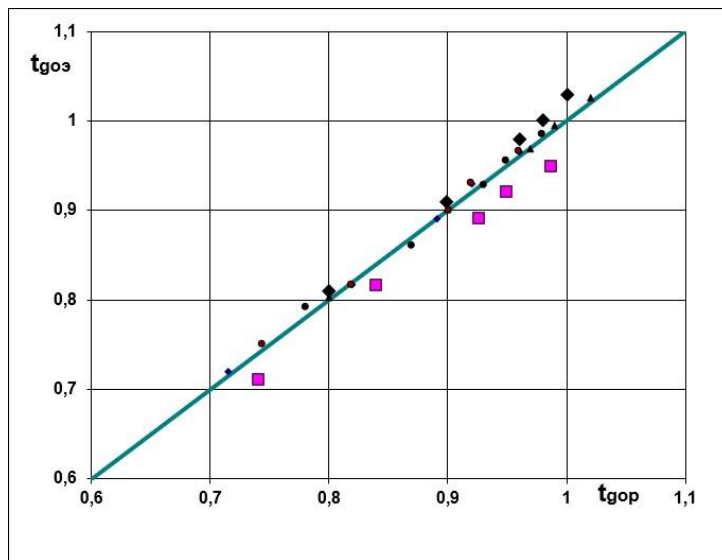


Рис. 1 Результаты функционального диагностирования процессов в рабочих цилиндрах двигателя 6ЧН 25/34-3 посредством эталона $t_{гоз} = f(t_{гор})$

Двигатель использовался со следующими неисправностями, искусственно введённых в механизм газораспределения цилиндров и систем топливоподачи:

- зазор в приводе клапанов газораспределительного механизма третьего цилиндра был увеличен до 1 мм, а четвертого цилиндра до 1,5 мм.

- давление впрыска топлива у первого цилиндра была снижена до 7,5 МПа, а второго до 5 МПа. Данные результаты функционального диагностирования рабочих процессов в цилиндрах двигателя 6ЧН 25/34-3, позволяют однозначно определить особенности и диагностические возможности экспериментальных моделей типа (1).

Строго однозначное соответствие между независимыми переменными и решением, характерно только для условий сгорания топлива в рабочих цилиндрах, соответствующих состоянию заведомо исправного двигателя.

При изменении условий сгорания топлива однозначность соответствия между h_0 , p_0 , $t_{го}$ и $\chi_1 = f(p_0)$ нарушается и зависимость $t_{гоз} = f(t_{гор})$, соответствующие новым условиям, отклоняется от эталона.

Отклонение фактических построенных зависимостей $t_{гоз} = f(t_{гор})$ от эталонных могут быть только в соответствии с двумя условиями:

- замеренные значение температуры отработавших газов на одном, на нескольких или на всех цилиндрах больше расчётных по уравнениям (1).

- замеренные значения температуры отработавших газов меньше расчётных по уравнениям (1).

В обоих случаях отклонения зависимостей $t_{гоз} = f(t_{гор})$ от эталона не содержит специфических признаков конкретной неисправности, которым она выделяется из множества других, то есть посредством моделей типа (1) можно решить только первую часть диагностической задачи: обнаружить на различных режимах работы двигателя конечные эффекты от проявления определенных неисправностей в компонентах, обеспечивающих качество сгорания топлива в цилиндрах.

Для решения второй части диагностической задачи могут быть полезными простые физические соображения например: при отклонении только на одном из цилиндров уровень конкретности диагноза существенно повышается. В этом случае важно установить неисправность без разборки или с разборкой цилиндра. По существу, однозначный результат диагностирования достигается после оценки технического состояния компонентов топливной аппаратуры и механизма газораспределения.

Отклонение фактически построенных зависимостей $t_{гоз} = f(t_{гор})$ от эталона в соответствии с условиями $t_{гоз} > t_{гор}$ могут быть вызваны проявлением неисправности механизма газораспределения, на поршневой полости цилиндра, воздушных газовом тракте двигателя.

Вероятность проявления первых двух неисправностей на всех цилиндрах крайне мала, в этом случае они могут быть разделены на основные физические соображения, приведенные выше.

Среди неисправностей воздушно - газового тракта, наибольшее распространение имеют неисправности, вызванные различного рода отложениями и загрязнениями практически на всех в элементах тракта. В результате нарушается степень согласованности характеристик дизеля и турбокомпрессора, снижается коэффициент избытка воздуха при сгорании, ухудшаются показатели надежности и экологичности. Поэтому реакция моделей на проявление неисправности воздушно газом тракте должна быть однообразной, в соответствии с условиями $t_{goz} > t_{gor}$. Это подтверждается результатами функционального диагностирования двигателя 6ЧН 25/34-3, приведенными на рисунке 2.

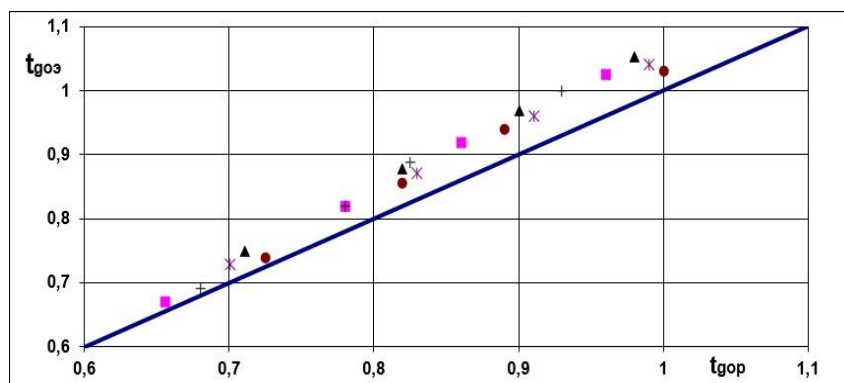


Рис. 2 Результаты функционального диагностирования двигателя 6ЧН 25/34-3

Двигатель испытывался при уменьшенном на 50% проходном сечении воздушного фильтра. Непосредственно из рисунка 2 следует, что в диапазон нагрузок (0,6-1,0) t_{go} данная неисправность на всех цилиндрах проявляется в одинаковой мере, то есть отклонение фактически построенных зависимостей $t_{goz} = f(t_{gor})$ отдельных цилиндров от эталона могут быть аппроксимированы единой линией с величиной разброса, существенно не превышающей погрешности измерения информативных параметров.

Отклонение фактически построенных зависимостей $t_{goz} = f(t_{gor})$ от эталона в соответствии с условиями $t_{goz} < t_{gor}$ вызывается проявлением неисправностей в топливной аппаратуре и в системе охлаждения. Эти неисправности разделяются по признаку: как правило, неисправность в топливной аппаратуре появляется на одном из цилиндров; снижение теплового режима в системе охлаждения в одинаковой мере проявляются на всех цилиндрах.

Заключение

Предложенный комплекс инвариантных экспериментальной теоретических моделей позволяет реализовать систему технического обслуживания по фактическому состоянию компонентов судовых дизелей, обеспечивающих качественное сгорание топлива в рабочих цилиндрах. Комплекс моделей сформирован на основе информативных параметров, контролируемых штатными измерительными приборами, что позволяет его оперативно использовать для функционального диагностирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковальчук, Л. И. Экспериментально-теоретические модели для диагностирования рабочих процессов в цилиндрах судовых дизелей. - Двигателестроение. – 2015. – № 4. – С. 30–33.
2. Ковальчук, Л. И. Построение инвариантных экспериментально-теоретических моделей для функционального диагностирования воздушно газового тракта судовых дизелей с наддувом. - Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – № 3 (37). – Т. 1. – С. 85–89.
3. Ковальчук, Л.И. Оценка влияния погрешностей исходных данных на параметры инвариантных диагностических. – Известия Калининградского государственного технического университета. – 2016. – № 42. – С. 195–204.

4. Ковальчук, Л.И. Теоретические предпосылки и алгоритм формирования моделей для контроля режимов ограничительных по тепловой напряженности характеристик судовых дизелей. – 2015. – № 4. – С. 29–32.

5. Техническое использование и диагностика судовых дизелей: Тексты лекций / С.В. Камкин, М.К. Овсянников, И.В. Возницкий. – ММФ ЛВИМУ им. адм. С.О. Макарова. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1982. – 50 с.

COMPLEX OF EXPERIMENTAL-THEORETICAL MODELS FOR CONTROL OF TECHNICAL STATE OF MARINE DIESEL COMPONENTS PROVIDING QUALITY FUEL COMBUSTION IN THE WORKING CYLINDERS

¹ Kovalchuk Leonid Ignatievich, Doctor of Technical Sciences, Professor

² Tkachenko Kirill Sergeevich, Postgraduate student of the Department of Ship Power Plants

¹Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU», Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹bgarf1988@inbox.ru

² FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ²tkachenko.k.s@mail.ru

The article presents a set of experimental and theoretical models for functional parametric diagnostics of the components of marine diesel engines, which ensure high-quality combustion of fuel in working cylinders. Recommendations are given on the use of models for solving diagnostic problems, and the results of practical diagnostics are discussed.

УДК 621.565

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА ИНЕЯ НА ПОВЕРХНОСТИ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЯ

Кошелев Сергей Валерьевич, канд. техн. наук, заведующий
лабораторно-исследовательским центром холодильных систем

Сластихин Юрий Николаевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой холодильной,
криогенной техники и кондиционирования

Ейдеюс Альгирдас Иозапович, канд. техн. наук, консультант-наставник

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: kaf_xktk@bgarf.ru

Авторами излагаются проблемы, возникающие при образовании инея на внешней теплопередающей поверхности трубчато-пластинчатых воздухоохладителей при охлаждении воздуха с отрицательной температурой. Проведен анализ работ зарубежных и отечественных исследователей, занимающихся моделированием условий инееобразования для получения экспериментальных данных о процессе нарастания слоя инея. Представлена принципиальная схема разработанной экспериментальной установки, предназначенной для получения и накопления пригодных для обобщения данных о процессах образования инея.

Введение

Иней образуется на любых холодных поверхностях при условиях, что температура точки росы t_p окружающего воздуха выше температуры поверхности t_n , а последняя ниже 0°C . В процессе охлаждения воздуха, из него выделяется влага, которая выпадает на холодных металлических поверхностях ВО в жидкой фазе в виде конденсата. Образование инея на поверхности низкотемпературных воздухоохладителей негативно влияет на работу холодильной установки. Президент Международной академии холода д-р техн. наук, профессор А.В. Бараненко в своем докладе на 28-м Общем годовом собрании 20 апреля 2021 г. отметил, что на холодильный сектор приходится 20% расходуемой глобальной экономикой электроэнергии. Эксплуатируемый мировой парк систем охлаждения, включая кондиционеры и тепловые насосы, составляет около 5 млрд единиц. По прогнозу ООН ожидается, что к 2050 г. количество единиц холодильного оборудования вырастет в мире до 9,5 млрд единиц, при потребности в 14 млрд. Международный институт холода считает, что мировой спрос на электроэнергию для холодильного сектора, включая кондиционирование воздуха, может более чем удвоиться к 2050 г. При этом отмечается, что дальнейшие усилия по улучшению энергоэффективности холодильных систем могут ограничить эти увеличения потребления энергии. Снижение энергопотребления за счет повышения эффективности холодильных установок, разработка альтернативных более эффективных технологий производства холода является одной из приоритетных задач специалистов по технике низких температур в борьбе с глобальным потеплением на планете.

Общая вместимость холодильных складов во всем мире составила в 2020 г. 719 млн кубометров, что на 16,7% больше, чем в 2018 г. (отчет международной ассоциации охлаждаемых складов). Таким образом, постоянно увеличивается количество холодильных складов, холодильного оборудования, а с ними и суммарное энергопотребление. На основании перечисленных данных и изложенных проблем, основным объектом наших исследований стал процесс образования инея на низкотемпературных воздухоохладителях (ВО), которые представляют собой трубчато-пластинчатые теплообменные аппараты, снабженные вентиляторами для охлаждения воздуха. Такие устройства чаще всего применяются для охлаждения продуктов на холодильных складах, в морозильных камерах промышленного назначения, холодильных камерах, холодильном транспорте и бытовых холодильниках. Низкотемпературные змеевиковые ВО получили широкое применение в морозильных аппаратах и трюмах рыбопромысловых и транспортных судов.

Постановка задачи

Интенсивное инеобразование происходит на воздухоохладителях холодильных машин (ХМ) и тепловых насосов (ТН). Для компактности ВО обычно имеют трубчато-пластинчатое исполнение. Из-за конденсации водяного пара происходит рост и уплотнение слоя инея на трубах и ребрах ВО, проходное его сечение уменьшается, что вызывает увеличение аэродинамического сопротивления и снижение расхода прокачиваемого воздуха. Сравнительно небольшая теплопроводность слоя инея способствует повышению термического сопротивления и снижению коэффициента теплопередачи (КТП) ВО. Это приводит к тому, что для поддержания постоянной температуры хранения требуется более низкая температура кипения холодильного агента в воздухоохладителе, а с понижением температуры кипения уменьшается холодопроизводительность и увеличивается затрачиваемая мощность. В целом, по мере обмерзания ВО, энергоэффективность ХМ уменьшается. Для поддержания заданного температурного режима приходится увеличивать производительность компрессоров, а нередко и вентиляторов. При длительной работе проходное сечение ВО может быть заблокировано инеем с полной потерей полезной производительности ХМ или ТН. Из этого же следует, что нарастание слоя инея на теплообменниках (ТО) холодильных камер может привести к частичной или полной порче и потере продуктов, что ведет к нарушению работы транспортных цепочек.

Чтобы поддержать эффективную работу ХМ и ТН периодически проводят удаление слоя инея с поверхности ВО разными способами. Все они предполагают вывод из действия всего ВО или остальных его секций с временной потерей производительности и дополнительными затратами энергии на оттаивание инея и повторный ввод ВО в действие. Частота и длительность оттаек зависит от параметров обмерзания ВО и условий работы. Направленное на экономию энергоресурсов планирование оттаек требует точной информации об изменении показателей слоя инея по времени. Точные данные о скорости образования инея и изменении его теплофизических свойств необходимы

для правильного проектирования новых и подбора существующих ВО, а также для организации их оттайки. В условиях инееобразования приходится учитывать диаметр труб d_r , их число и расположение в пучке, продольный s_2 и поперечный s_1 шаг труб, толщину δ_r и шаг s_p ребер, температуру охлаждаемого воздуха t_v и охлаждающей поверхности t_n , наряду с влажностью φ и скоростью воздуха v_v . Установлено, что при обмерзании лучшие показатели эффективности имеют ВО с плоскими ребрами [1].

За последние десятилетия специалистами многих стран проводились исследования разных аспектов инееобразования. Значительная часть основополагающих работ относится к формированию слоя инея на поверхностях простой геометрии (пластина, цилиндр). Для получения низких температур исследуемых поверхностей в таких случаях часто используются элементы Пельтье или ТЕС (Thermoelectric cooler). Большинство же исследователей, изучающих процесс инееобразования на трубчато-ребристых охладителях используют в своих работах теплообменные аппараты систем кондиционирования с шагом ребер $s_p < 4$ мм. Такие теплообменники не рассчитаны на отрицательные температуры кипения хладагента и не подходят для использования в холодильных или морозильных камерах, как береговых, так и судовых.

Как бы то ни было, изучение процесса образования инея как на поверхностях простой геометрии, так и на трубчато-пластинчатых воздухоохладителях, требует создания специализированных экспериментальных стендов [2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25]. Это обусловлено необходимостью поддерживать либо изменять параметры воздуха в исследуемом контуре с высокой точностью. В целом, можно выделить две компоновки экспериментальных стендов. В одной из них воздух на стенде движется по замкнутому контуру, иначе называемым «воздушное кольцо», когда сторона всасывания и нагнетания вентилятора герметично соединены воздуховодами. Вторая компоновка подразумевает, что воздух проходит через испытательную секцию, но нагнетается и всасывается из одного и того же помещения. Такие установки также иногда называют «воздушный туннель». На рисунке 1 представлен испытательный стенд под авторством Silva [3], который представляет собой вертикальное воздушное кольцо с испытуемым змеевиковым ВО (EVAP), аэродинамическим соплом, вентилятором с регулируемой скоростью вращения, нагревателем, несколькими выпрямителями и смесителями воздушного потока. В качестве измерительных приборов на входе и выходе воздуха в ВО установлены секции из 9 термопар (ТТ) с максимальной погрешностью $\pm 0,2^\circ\text{C}$ и датчики относительной влажности (НТ) с максимальной погрешностью $\pm 1,5\%$. Перепад давления воздуха на теплообменнике измеряется дифференциальным манометром с максимальной погрешностью $\pm 2,5$ Па. Максимальная погрешность при измерении дифференциальным манометром расхода воздуха на аэродинамическом сопле составила ± 6 м³/ч. Процесс образования инея на поверхности снимался на цифровую камеру с высоким разрешением для последующей обработки. Вариант компоновки испытательного стенда с воздушным туннелем и изолированным помещением показан на рисунке 2 под авторством Seker [14]. Deniz Seker в своей работе создал установку, симулирующую циркуляцию воздуха в бытовом холодильнике. Она представляет собой воздушный туннель с испытуемым змеевиковым ВО (Test section), в котором кипит холодильный агент R134A, подаваемый от отдельной холодильной установки (Refrigeration system). Воздух из помещения для его кондиционирования засасывается в туннель вентилятором, перед которым расположено аэродинамическое сопло М, затем проходит через первый выравниватель потока (Flow Straightener), испытуемый ВО, второй выравниватель потока и уже вторым вентилятором подается обратно в помещение. В помещении находится система кондиционирования воздуха и два отдельно управляемых нагревателя воздуха. В схеме измерений предусмотрена фиксация данных о температуре Т, давлении Р до и после ВО, а также перепад давления на сопле М.

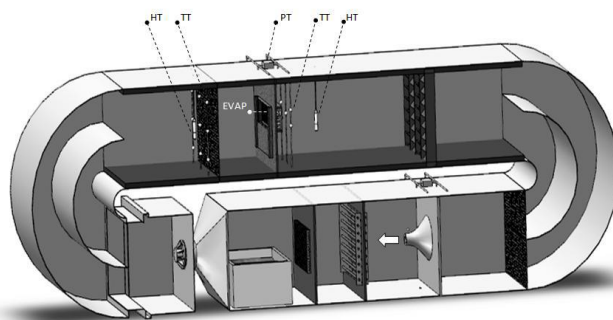


Рис. 1. Экспериментальная установка Silva [3]

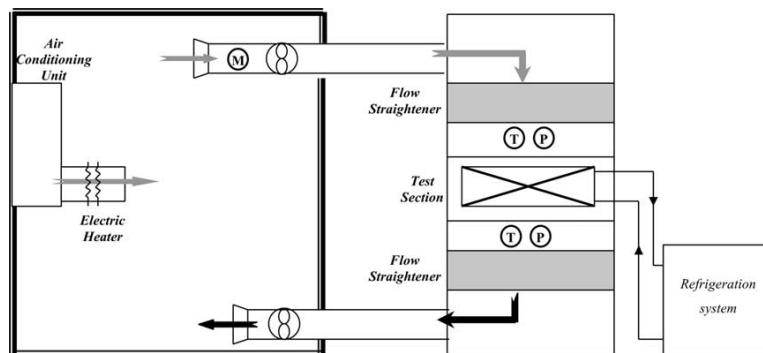


Рис. 2. Экспериментальная установка Seker [14]

Экспериментальная установка

Проектирование экспериментальной установки началось с анализа стандартов Американского общества инженеров в области теплотехники, холодильной техники и кондиционирования воздуха ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), признанных международным сообществом, а именно: 41.2-1987 (RA1992) [26]; 41.1-1986 (RA2013) [27]; 41.6-1994 (RA 2014) [28]; 41.3-1989 (RA2014) [29]; 41.10-2008 (RA2013) [30]; 41.8-2016 (RA2019) [31]. В качестве испытуемого теплообменного аппарата был выбран секционный змеевиковый воздухоохладитель трубчато-пластинчатого типа с верхней подачей холодильного агента. Воздухоохладитель состоит из 3 секций, каждая секция состоит из 26 пластин (ребер) и 8 труб, которые имеют коридорное расположение в змеевике, наружный диаметр труб змеевика $d_t=0,0165$ м. Шаг труб вдоль движения воздуха $s_2 = 0,075$ м, поперек движения воздуха - $s_1 = 0,06$ м, толщина ребер $\delta_p = 0,0008$ м, а шаг ребер $s_p = 0,0091$ м. Такой шаг труб подходит для применения этого теплообменника в низкотемпературных установках с отрицательной температурой кипения t_0 холодильного агента или отрицательной температурой циркуляции рассола (хладоносителя) t_s .

На основании стандартов ASHRAE и собственных разработок и умозаключений, к установке для получения экспериментальных данных о скорости образования инея и изменении его теплофизических свойств, предъявлялись следующие требования:

1) Схема установки должна представлять воздушный туннель, находящийся внутри воздушного кольца.

2) Обеспечить температуру воздуха $t_{в1}$ перед испытуемым ТО до -30°C без его участия в процессе охлаждения.

3) Значение температуры $t_{в1}$ должно быть постоянным и поддерживаться с высокой точностью с помощью вспомогательного охладителя и трубчатого электронагревателя (ТЭН).

4) Контур подготовки воздуха должен включать в себя: вспомогательный охладитель - осушитель (с ХН), увлажнитель, электронагреватель с регулятором мощности. Теплообменники для охлаждения воздуха должны быть установлены последовательно: один для охлаждения, а другой – для осушения воздуха; увлажнитель работает в паре с электронагревателем.

5) Используемый для перемещения воздуха, вентилятор должен иметь переменную частоту вращения для поддержания постоянного расхода воздуха через испытуемый ВО, независимо от слоя инея. Кроме того, должен быть установлена крыльчатка или дополнительный вентилятор для равномерного перемешивания воздушного потока.

6) В каждом опыте выдерживать постоянные: температуру воздуха $t_{в1}$, влажность воздуха $\varphi_{в}$ (или влагосодержание $d_{в1}$), температуру подаваемого хладоносителя (рассола) $t_{р1}$, скорость в лобовом сечении ВО $w_{л}$, объемный и массовый расход воздуха через ТО $V_{ТО}$, $G_{в}$ и полный объемный расход воздуха $V_{п}$.

7) Воздуховоды воздушного туннеля и воздушного кольца должны быть теплоизолированы для исключения влияния окружающей среды, людей и освещения.

8) Точность измерения температуры должна быть:

а) для воздуха, определяемая как по сухому t_c , так и мокрому термометру t_m , $\mp 0,06^\circ\text{C}$;

б) для воды, рассола, $\mp 0,06^\circ\text{C} \times 2 = \mp 0,12^\circ\text{C}$;

в) для насыщенного хладагента, $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$;

г) для других температур, $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$;

Деления шкалы прибора должны вдвое превышать допустимую погрешность.

9) Точность измерения давления должна быть:

а) точность датчиков должна быть $\pm 2\%$ от абсолютного давления;

б) для хладагента, $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ температуры насыщения.

10) Расход воздуха находят по падению давления на соплах или по скоростному напору на выходе каждого аэродинамического сопла.

В первую очередь, было необходимо определить, что будет являться генератором холода для исследуемого и вспомогательного теплообменных аппаратов. Рассматривалась схема как с непосредственным кипением холодильного агента в межтрубном пространстве, так и применение хладоносителя, обе схемы позволяют достичь отрицательных температур воздуха, на выходе из теплообменника ВО. Преимуществом первого варианта является отсутствие дополнительного холодильного контура с рассолом, но при этом в процессе кипения холодильного агента образуется двухфазная смесь пара и жидкости, которая вызывает дополнительные сложности при получении экспериментальных данных о расходе хладагента G_a и его температуре кипения t_0 . Кроме того, предъявляются особые требования к герметичности и исполнению измерительных приборов, трубопроводов и запорной арматуры. Второй вариант предполагает насосную схему циркуляции однофазного охлажденного рассола, который в свою очередь охлаждается холодильным агентом в рассольном охладителе, находящемся в составе холодильной машины. Ввиду того, что на кафедре холодильной техники и кондиционирования БГАРФ существует холодильная машина для охлаждения рассола (chiller), планируется применение этой ХМ после некоторых доработок и модификаций.

Рассмотрим принципиальную схему экспериментальной установки, представленной на рисунке 3. Исследуемый теплообменный аппарат состоит из трех отдельных оребренных змеевиков (секций) последовательно соединенных между собой. Для циркуляции хладоносителя через ТО предусмотрен центробежный насос для создания независимого замкнутого контура. Отдельный контур со своим насосом также постоянно снабжает хладоносителем вспомогательный охладитель. На рисунке 3 показана схема циркуляции рассола в теплообменнике. Контур должен быть оборудован расходомером FE , который связан с центробежным насосом для поддержания постоянного расхода хладоносителя G_s . Также должна быть предусмотрена возможность изменения производительности насоса. Для регулирования температуры $t_{в1}$ и плотности воздуха $\rho_{в1}$ ($d_{в1}$) перед ТО путем изменения температуры рассола t_s на охладителе или секциях ТО, было решено использовать трехходовые клапаны с электронным управлением, которые будут подмешивать отепленный рассол к потоку холодного рассола, идущего из рассольного бака.

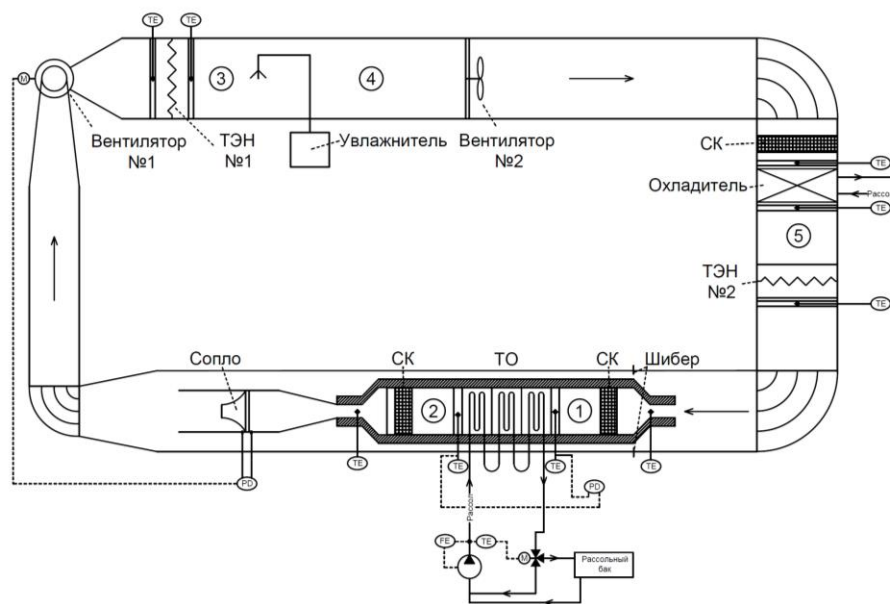


Рис. 3. Прототип экспериментальной установки

Воздух движется по замкнутому контуру, сформированному из прямоугольных теплоизолированных воздуховодов разного сечения. Перепад давлений в контуре создается центробежным вентилятором №1. Скорость вращения вентилятора должна автоматически меняться для поддержания постоянного расхода воздуха, определяемого по перепаду давления PD на аэродинамическом сопле повышенной точности, так как расход воздуха будет изменяться по мере обледенения испытуемого ТО и изменения площади его проходного сечения $F_{ж}$. После вентилятора №1 воздух нагревается трубчатым электронагревателем (ТЭН №1) до предварительно заданной температуры $t_{в3}$, а затем при необходимости увлажняется при отклонениях температуры точки росы $t_{р1}$ на входе в ТО, для равномерного перемешивания увлажненного воздуха предусмотрен низкооборотный осевой вентилятор №2. Далее воздух проходит через угловые выпрямители потока, смесительную камеру (СК) и направляется к вспомогательному охладителю. После охладителя воздух проходит через секцию со вторым электронагревателем (ТЭН №2), мощность которого изменяется по ПИД-закону в зависимости от отклонения температуры $t_{в1}$ от заданной. В теплоизолированном воздушном туннеле с ТО скорость воздуха увеличивается до $v_a = 3,6 \dots 10,2$ м/с из-за сужения в воздуховоде на входе в туннель. Это в первую очередь необходимо для точного измерения температуры по мокрому термометру t_m после наступления равновесного испарения. По значениям температуры сухого t_c и мокрого t_m термометров можно находить влажность по температуре точки росы t_p [27]. Предусмотрен зазор для прохождения воздуха между воздушным туннелем и внешним воздуховодом, который изменяется в зависимости от положения шиберов для изменения отношения полного расхода воздуха и расхода воздуха через ТО $V_{п}/V_{то}$. В туннеле воздух проходит через смесительную камеру, три секции испытуемого теплообменного аппарата, на котором измеряется перепад давления воздуха PD на теплообменнике, еще одну смесительную камеру и направляется к аэродинамическому соплу, на котором измеряется расход воздуха G_b . Воздух поступает на всасывание вентилятора, цикл замыкается.

На рисунке обозначены датчики температуры TE , к которым относятся сухие и мокрые термометры, они расположены в ключевых точках воздушного кольца. Места измерения температуры в сужениях воздушного туннеля желательно снабдить высокоточными электронными измерителями точки росы. Геометрические параметры нарастающего инея на поверхности теплообмена ТО должны фиксироваться двумя цифровыми камерами с машинным зрением, расположенными в вертикальной и горизонтальной плоскости ТО. Для этого часть горизонтальных стенок туннеля и воздуховода необходимо изготовить из прозрачного материала. После завершения этапа эксперимента, исследуемый ТО оттаивается, а отводимая в дренажный поддон влага, собирается и взвешивается для определения массы инея.

Можно выделить два режима работы экспериментальной установки: подготовительный и испытательный. В подготовительном режиме через вспомогательный охладитель охлажденный рассол циркулирует до тех пор, пока температура циркулирующего воздуха $t_{в1}$ не достигнет заданного значения (желательно -30°C), при этом хладоноситель на секции исследуемого ТО не подается, чтобы к моменту начала испытаний, на секциях ТО не было влаги и инея. С началом испытаний, подача рассола на вспомогательный охладитель не прекращается, но в работу включаются секции испытуемого ТО.

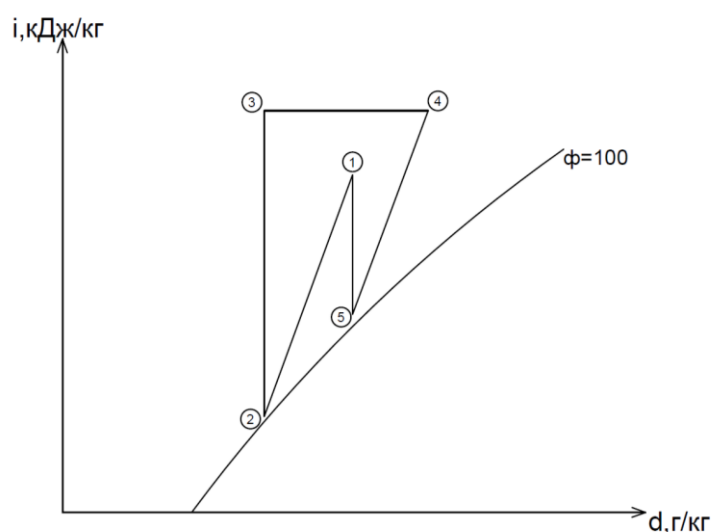


Рис. 4. i - d диаграмма влажного воздуха

Процесс изменения состояния воздуха на $i-d$ диаграмме в процессе его циркуляции в воздушном кольце показан на рисунке 4. 1-2: охлаждение воздуха в ТО; 2-3: подогрев воздуха; 3-4: увлажнение воздуха; 4-5: процесс во вспомогательном охладителе; 5-1: подогрев воздуха ТЭНом до заданной $t_{в1}$.

Заключение

На основе результатов анализа существующих работ по тематике исследования, было решено объединить компоновку «воздушное кольцо» и «воздушный туннель» для получения экспериментальных данных об инееобразовании. Разработана принципиальная схема расположения оборудования и основных средств измерения, разрабатывается рабочий проект и система измерений, ведется подбор оборудования и необходимых материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. W.-M. Yan et al. Thermofluid characteristics of frosted finned-tube heat exchangers / *International Journal of Heat and Mass Transfer* 48 (2005) 3073–3080.
2. A.L. Bendaoud et al. A Novel Approach to Study the Performance of Finned-Tube Heat Exchangers under Frosting Conditions/ *JAFM*, Vol. 4, Special Issue, pp. 9-20, 2011.
3. Da Silva, Diogo Londero, "Frost Formation on Fan-Supplied Tube-Fin Evaporators: A Visual and Numerical Analysis" (2012). *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*. Paper 1164.
4. Sankaranarayanan K.P. Study of frost growth on heat exchangers used as outdoor coils in air source heat pump systems/ *Dissertation*. 2011. 206 p.
5. Muehlbauer J. Investigation of performance degradation of evaporator for low temperature refrigeration applications/ *Thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science*. 2006. 102 p.
6. Verma P. et al. Experimentally validated model for frosting of plain-fin-round-tube heat exchangers/ *IIF - IIR – Commission D1/B1 – Urbana, IL, USA – 2002/07*. 11 p.
7. Moo-Yeon L. et al. Experimental Study on Frost Height of Round Plate Fin-Tube Heat Exchangers for Mobile Heat Pumps/ *Energies* 2012, 5, pp. 3479-3491.
8. Andersson C. An experimental study of surface coatings to limit the impact of frosting. *Master of Science Thesis KTH School of Industrial Engineering and Management Energy Technology EGI-2018-711 Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration SE-100 44 STOCKHOLM*. 55 p.
9. K. Lenic et al. Transient two-dimensional model of frost formation on a fin-and-tube heat exchanger/ *International Journal of Heat and Mass Transfer* 52 (2009) 22–32.
10. Yang J. A study of heat pump fin staged evaporators under frosting conditions/ *Dissertation Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy*. May 2003.
11. Padhmanabhan S.K. et al. Modeling non-uniform frost growth on a fin-and-tube heat exchanger/ *International Journal of Refrigeration* 34 (2011) 2018-2030.
12. Moallem E. et al. Experimental study of onset and growth of frost on outdoor coils of air-source heat pump systems. *ASME-ATI-UIT 2010 Conference on Thermal and Environmental Issues in Energy Systems* 16 – 19 May, 2010, Sorrento, Italy.
13. D.L. da Silva et al. Effect of frost morphology on the thermal-hydraulic performance of fan-supplied tube-fin evaporators/ *Applied Thermal Engineering* 111 (2017) 1060–1068
14. D. Seker et al. Frost formation on fin- and- tube heat exchangers. Part II—Experimental investigation of frost formation on fin- and- tube heat exchangers/ *International Journal of Refrigeration* 27 (2004) 375–377.
15. F. Wang et al. Effects of surface characteristic on frosting and defrosting behaviors of fin-tube heat exchangers / *Applied Thermal Engineering* 75 (2015) 1126-1132.
16. C.-C. Wang, K.-Y. Chi Heat transfer and friction characteristics of plain fin-and-tube heat exchangers, part I: new experimental data/ *Int. J. Heat Mass Transfer* 43 (2000) 2681-2691.
17. X.-M. Guo et al. Experimental study on frost growth and dynamic performance of air source heat pump system / *Applied Thermal Engineering* 28 (2008) 2267–2278.

18. Bayrak E. Experimental Investigation of Frost Formation in a Finned-Tube Evaporator under Simulated Real Operation Conditions/ 16th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 11-14, 2016.
19. Haijie Q. et al. Experimental study of the characteristic of frosting on low-temperature air cooler/ Experimental Thermal and Fluid Science 55 (2014) 106–114.
20. Xue Liping et al. Experimental Study of Frost Growth Characteristics on Surface of Fin-tube Heat Exchanger/ Energy Procedia 105 (2017) 5114 – 5121.
21. W.-M. Yan et al. Thermofluid characteristics of frosted finned-tube heat exchangers/ International Journal of Heat and Mass Transfer 48 (2005) 3073–3080.
22. Getu H.M. New frost property correlations for a flat-finned-tube heat exchanger/ International Journal of Thermal Sciences 50 (2011) 544-557.
23. G.-Y. Ma, H.-X. Zhao Experimental study of a heat pump system with flash-tank coupled with scroll compressor/ Energy and Buildings 40 (2008) 697–701.
24. Xu X. et al. Transient and steady-state experimental investigation of flash tank vapor injection heat pump cycle control strategy/ International Journal of Refrigeration 34 (2011) 1922–1933.
25. Королев И. Исследование камерного воздухоохладителя с учетом динамики образования инея на теплообменной поверхности аппарата. Автореферат кандидатской диссертации. ФГБОУ ВО МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва. 2020.
26. 41.2-1987 (RA1992) Standard Methods for Laboratory Airflow Measurement.
27. 41.1-1986 (RA2013) Standard Method for Temperature Measurement.
28. 41.6-1994 (RA 2014) Standard Method for Humidity Measurement.
29. 41.3-1989 (RA2014) Standard Methods for Pressure Measurement.
30. 41.10-2008 (RA2013) Standard Methods for Refrigerant Mass Flow Measurement Using Flowmeters.
31. 41.8-2016 (RA2019) Standard Methods for Liquid Flow Measurement.

DEVELOPMENT OF AN EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR STUDYING THE GROWTH OF FROST ON THE SURFACE OF THE AIR COOLER

Koshelev Sergey Valerjevich, Ph.D., Head of LRCRS
 Slastikhin Yury Nikolaevich, Ph.D., Head of Department
 Eideyus Algirdas Iozapovich, Ph.D., Mentor consultant

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,
 Kaliningrad, Russia, e-mail: kaf_xktk@bgarf.ru

The authors describe the problems arising from the formation of frost on the external heat-transfer surface of tubular-plate air coolers during cooling air with a negative temperature. The analysis of the works of foreign and domestic researchers engaged in modeling the conditions of frost formation to obtain experimental data on the growth of the frost layer is carried out. A schematic diagram of the developed experimental setup, designed to obtain and accumulate data suitable for generalization on the processes of frost formation is presented.

ОБ ИНТЕГРАЦИИ DELPHI И MATHCAD

Кункевич Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: SKunkevich@mail.ru

Рассмотрены вопросы интеграции системы объектно-ориентированного программирования высокого уровня Delphi и системы компьютерной алгебры Mathcad.

1 Общие сведения

В настоящее время в учебных заведениях и научных сообществах для автоматизации различных расчетов широкое распространение получили такие системы, как система компьютерной алгебры Mathcad и система объектно-ориентированного программирования высокого уровня Delphi (язык программирования Object Pascal). Каждая из этих систем имеет свои достоинства и недостатки.

Mathcad – это система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением, отличается лёгкостью использования [2]. Mathcad обладает таким замечательным качеством, как использование «живых» формул. Формулы записываются по всем правилам математики с использованием греческих, английских и русских символов, индексов, а результат вычислений можно вывести непосредственно после формулы. Большим достоинством Mathcad является возможность работы с размерными величинами, а также наличие обширнейшей библиотеки для решения линейных, нелинейных уравнений и их систем, решение дифференциальных, интегральных уравнений, матричное исчисление и др.

К основным недостаткам можно отнести невозможность создания автономных программ с развитым пользовательским интерфейсом, практически отсутствуют средства отладки, сложности организации итерационных вычислений на больших объемах кода.

Термин **Delphi** означает интегрированную среду разработки программного обеспечения (в настоящее время – это Embarcadero Delphi), а также императивный, структурированный, объектно-ориентированный, высокоуровневый язык программирования (диалект языка Object Pascal) [1]. Основная область использования – написание прикладного программного обеспечения. Большим достоинством Delphi является легкость создания интерфейса пользователя, создание объектно-ориентированных программ любой сложности, работа практически с любыми базами данных, высокоуровневые средства отладки программного кода, возможность написания клиентов автоматизации для многих программ (в том числе и для Mathcad).

К недостаткам можно отнести отсутствие в стандартной поставке библиотеки для решения линейных, нелинейных уравнений и их систем, решения дифференциальных, интегральных уравнений и др.

При подготовке данной статьи использовался Mathcad 15 и Embarcadero Delphi 10.3 Community Edition.

2 Механизм реализации интеграции

Интеграция Delphi и Mathcad включает в себя следующие основные шаги:

1. Инициализация и пересылка необходимых для производства вычислений данных из Delphi в шаблон Mathcad (шаблон – заранее подготовленная программа Mathcad, предусматривающая наличие переменных, принимающих параметры из Delphi, прописанный вычислительный алгоритм, а также переменные, возвращающие результат вычислений обратно в Delphi).

2. Производство вычислений в шаблоне Mathcad, используя широко развитую и апробированную математическую библиотеку.

3. После завершения вычислений в Mathcad результат возвращается в Delphi и полученные данные используются далее в вычислительном алгоритме программы, используя преимущества объектно-ориентированного алгоритмического языка Object Pascal.

В данной статье рассматривается возможность интеграции программ с помощью технологии OLE2 (Object Linking and Embedding) – технологии связывания и внедрения объектов в другие документы и объекты, разработанной корпорацией Microsoft – наиболее простой и вполне надежный способ. Взаимодействие программ через библиотеку типов (type library) не рассматривается.

Для пересылки данных из Delphi в Mathcad и обратно существует специализированный тип данных OleVariant, который способен передавать значения различных типов: натуральные и вещественные числа, векторы и двумерные массивы. Поэтому объявление входных и выходных переменных, промежуточных структур в Delphi может выглядеть следующим образом:

```
Const
  WorkSheet_FullName='E:\D-MC_interaction.xmcd'; // Имя файла-шаблона Mathcad
Type
  TDynArr2 = array of array of double; // Двумерный массив (динамический)
Var
  // Входные и выходные данные, передаваемые в/из Маткад(a)
  in0, in1, in2, in3, in4 : OleVariant;
  E, out0, out1, out2, out3, out4 : OleVariant;
  DimCount, n_row, n_col : integer;
Var
  mc_doc : OleVariant; // Переменная, управляющая объектом Mathcad
  CulcRes: double;
  S : string;
Var
  OLECont : TOleContainer; // Переменная-контейнер
```

Для управления программой Mathcad из Delphi необходимо вначале создать специальный OLE-контейнер, создать объект Mathcad из файла-шаблона и связать его с OLE-контейнером. Для удобства установим режим работы Mathcad в фоновом режиме (для ускорения работы, и чтобы не загромождать экран), а управление Mathcad-объектом передадим переменной mc_doc типа OleVariant. Имя файла-шаблона передается в подпрограмму с помощью переменной WorkSheet_FullName. Ниже представлен вариант кода, реализующий данный функционал:

```
procedure TForm1.CreateMathCadObject(WorkSheet_FullName : string);
begin
  // Создание OLE-контейнера
  OLECont:=TOleContainer.Create(self);
  OLECont.Parent:=self;
  // Делаем контейнер невидимым
  OLECont.Visible:=False;
  OLECont.AllowActiveDoc:=False;
  OLECont.AllowInPlace:=False;
  // Создаём объект Mathcad из файла-шаблона и связываем с OLE-контейнером
  // (где будут производиться вычисления)
  OLECont.CreateObjectFromFile(WorkSheet_FullName,false);
  // MathCad будет работать в фоновом режиме
  OLECont.DoVerb(ovHide); //ovOpen); //ovHide); // ovPrimary
  // Передаём управление MathCad-объектом переменной mc_doc
  mc_doc:=OLECont.OleObject;
end;
```

Итак, Mathcad-объект создан, он инкапсулирует файл-шаблон, где реализован соответствующий вычислительный алгоритм. Следующая задача – это передача в Mathcad-объект исходных данных, производство вычислений и получение результата обратно в Delphi.

Ниже приведено содержание файла-шаблона Mathcad. Это максимально «прозрачные» алгоритмы преобразования входных данных в выходные. Для одиночных чисел значения встроенных входных переменных in0, in1 и in2 присваиваются соответственно переменным x, y и z, вычисляется значение выражения и результат возвращается во встроенной переменной out0. Для вектора входная переменная in3 возводится во вторую степень и результат возвращается в выходной переменной out3. Для двумерной матрицы производится транспонирование данных входной переменной in4 и результат возвращается в выходной переменной out4.

Формулы для одиночных чисел

$$x := in0$$

$$y := in1$$

$$z := in2$$

$$out0 := \frac{x^2 + y^2}{\sqrt{z}} \quad +$$

Формула для вектора (возведение во вторую степень)

$$out3 := in3^2$$

Формула для матрицы (транспонирование)

$$out4 := in4^T$$

Для наглядности представления данных, пересылаемых из Delphi в Mathcad и демонстрации полученного обратно результата, а также пояснения технологии передачи / получения данных, ниже приводятся соответствующие скриншоты и фрагменты программы на языке Object Pascal. На рис. 1 представлен скриншот исходных данных в Delphi для одиночных чисел и вычисленное в Mathcad значение выражения в выходных данных. Ниже приведен код, реализующий алгоритм взаимодействия Delphi и Mathcad.

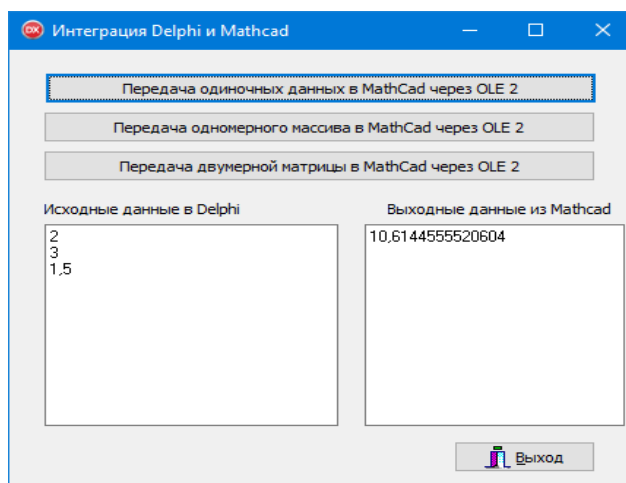


Рис. 1. Скриншот, демонстрирующий передачу в Mathcad одиночных чисел

```

procedure TForm1.Передача_одиночных_данных_в_MathCad(Sender: TObject);
begin
  E:=0;
  // Инициализация переменных, передаваемых в MathCad
  in0:=2; in1:=3; in2:=1.5;

```

```

// Очищаем MEMO
memo1.Clear;
// Формируем вывод исходных данных в MEMO
CulcRes:=in0; memo1.Lines.Add(FloatToStr(CulcRes));
CulcRes:=in1; memo1.Lines.Add(FloatToStr(CulcRes));
CulcRes:=in2; memo1.Lines.Add(FloatToStr(CulcRes));
// Создание объекта MathCad
CreateMathCadObject(WorkSheet_FullName);
// Передаем значения переменных in0, in1 и in2 Delphi
// в соответствующие переменные in0, in1 и in2 MathCad
mc_doc.setcomplex('in0',in0,E);
mc_doc.setcomplex('in1',in1,E);
mc_doc.setcomplex('in2',in2,E);
// Производим перерасчет документа MathCad
mc_doc.recalculate;
// Получаем из Mathcad результат вычисления переменной out0 в переменную out0 Delphi
mc_doc.getcomplex('out0', out0,E);
// Очищаем MEMO
memo2.Clear;
// Формируем вывод исходных данных
CulcRes:=out0; memo2.Lines.Add(FloatToStr(CulcRes));
end;

```

На рис. 2 представлен скриншот исходных данных в Delphi для одномерной матрицы (вектора) и результат вычисления в Mathcad в выходных данных (возведение исходных данных во вторую степень). Ниже приведен код, реализующий алгоритм взаимодействия Delphi и Mathcad.

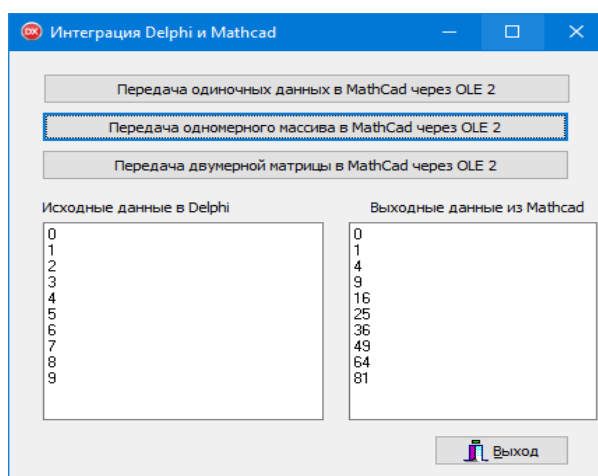


Рис. 2. Скриншот, демонстрирующий передачу в Mathcad вектора целых чисел

```

procedure TForm1.Передача_вектора_в_MathCad(Sender: TObject);
var
  i,j : integer;
  vectRe_in, vectIm_in : olevariant;
Const
  n = 10; // Количество элементов в векторе
Var
  vect_out : TDynArr2; // Вектор выходных данных (динамический)
begin
// Создаем входные векторы действительных и мнимых значений
  vectRe_in:=VarArrayCreate([0,n-1],varDouble);
  vectIm_in:=VarArrayCreate([0,n-1],varDouble);
// Заполняем векторы передаваемыми значениями
for i := 0 to n-1 do

```

```

begin
  vectRe_in[i]:=i; // Действительную часть инициализируем последовательностью чисел
  vectIm_in[i]:=0; // Мнимую часть обнуляем
end;
memo1.Clear;
// Формируем вывод исходных данных
for i:=0 to n-1 do
begin
  CulcRes:=vectRe_in[i];
  memo1.Lines.Add(FloatToStr(CulcRes));
end;
// Создаем MathCad-объект из файла
CreateMathCadObject(WorkSheet_FullName);
//передаем вектор vectRe_in Delphi в переменную in3 документа Mathcad
mc_doc.setcomplex('in3',vectRe_in,vectIm_in);
// Производим перерасчет документа MathCad
mc_doc.recalculate;
// Получаем из Mathcad результат вычисления в переменной out3
mc_doc.getcomplex('out3', out3,E);
//Проверяем переменную out3 на принадлежность к массиву
if not VarIsArray(out3) then
begin
  ShowMessage('Возвращаемое значение не является массивом'); Exit;
end;
// Получаем количество размерностей массива
DimCount:=VarArrayDimCount(out3);
// Получаем значения размерностей массива:
// Количество строк
n_row:=VarArrayHighBound(out3,1);
// Количество столбцов
n_col:=VarArrayHighBound(out3,2);
// Преобразуем полученный массив в динамический
DynArrayFromVariant(pointer(vect_out),out3,TypeInfo(TDynArr2));
// Очищаем Мемо
memo2.Clear;
// Формируем вывод исходных данных
for i:=0 to n_row do
for j:=0 to n_col do
begin
  CulcRes:=vectRe_in[i];
  memo2.Lines.Add(FloatToStr(vect_out[i,j]));
end;
// Очищаем массивы
SetLength(vect_out,0); VarClear(vectRe_in); VarClear(vectIm_in);
end;

```

В приведенном выше листинге алгоритма передачи вектора в Mathcad имеется особенность. Для согласования передаваемых данных из Delphi и принимающих переменных в Mathcad, в под-программу setcomplex передается пара векторов типа olevariant: вектор действительных чисел vectRe_in, содержащий необходимые для расчета числа, а также вектор мнимых чисел vectIm_in, содержащий нулевые значения. Результат вычисления возвращается в переменной out3 типа olevariant, которая с помощью специальных приемов преобразуется в динамический двумерный массив vect_out, в котором используется только действительная часть (число строк равно 10, число столбцов равно единице).

И, наконец, на рис. 3 представлен скриншот исходных данных в Delphi для двумерной матрицы и произведенное в Mathcad преобразование этой матрицы (транспонирование). Ниже приведен код, реализующий алгоритм взаимодействия Delphi и Mathcad.

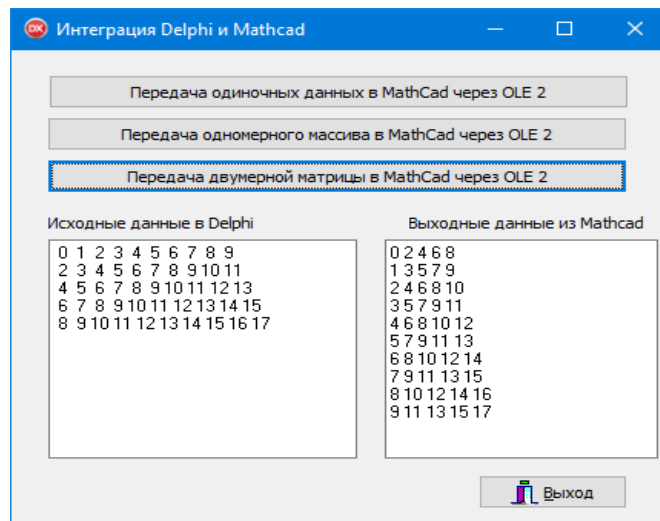


Рис. 3. Скриншот, демонстрирующий передачу в Mathcad двумерной матрицы

```

procedure TForm1.Передача_матрицы_в_MathCad(Sender: TObject);
var
  matrRe_in, matrIm_in : olevariant;
  i,j : integer;
Const
  rows = 5; // Количество строк
  cols = 10; // Количество столбцов
Var
  matr_out : TDynArr2;
begin
  E:=0;
  // Создаем входные матрицы действительных и мнимых значений
  matrRe_in:=VarArrayCreate([0,rows-1, 0,cols-1],varDouble);
  matrIm_in:=VarArrayCreate([0,rows-1, 0,cols-1],varDouble);
  // Заполняем матрицы передаваемыми значениями
  for i := 0 to rows-1 do
    for j:= 0 to cols-1 do
      begin
        matrRe_in[i,j]:=2*i+j; //Действительную часть инициализируем действ. числами
        matrIm_in[i,j]:=0; // Мнимую часть обнуляем
      end;

  // Очищаем Мемо
  memo1.Clear;
  // Формируем вывод ИД в МЕМО
  for i := 0 to rows-1 do
    begin
      S:="";
      for j:= 0 to cols-1 do
        begin
          CulcRes:=matrRe_in[i,j];
          S:=S+Format('%2.0f ',[CulcRes]);
        end;
      memo1.Lines.Add(S);
    end;

  // Создаем MathCad-объект из файла
  CreateMathCadObject(WorkSheet_FullName);
  // Передаем матрицу matrRe_in в переменную in4 документа MathCad
  mc_doc.setcomplex('in4',matrRe_in,matrIm_in);

```

```

// Производим перерасчет документа MathCad
mc_doc.recalculate;
// Получаем из Mathcad результат вычисления в переменной out4
mc_doc.getcomplex('out4', out4,E);
//Проверяем переменную out4 на принадлежность к массиву
if not VarIsArray(out4) then
begin
  ShowMessage('Возвращаемое значение не является массивом'); Exit;
end;
// Получаем количество размерностей массива
DimCount:=VarArrayDimCount(variant(out4));
// Получаем значения размерностей массива:
// Количество строк
n_row:=VarArrayHighBound(variant(out4),1);
// Количество столбцов
n_col:=VarArrayHighBound(variant(out4),2);
// Преобразуем полученный массив в динамический
DynArrayFromVariant(pointer(matr_out),out4,TypeInfo(TDynArr2));

// Очищаем Мемо
memo2.Clear;
// Формируем вывод в МЕМО результатов из Mathcad
for i := 0 to n_row do
begin
  S:="";
  for j:= 0 to n_col do S:=S+FloatToStr(matr_out[i,j])+ ' ';
  memo2.Lines.Add(S);
end;

// Очищаем массивы
SetLength(matr_out,0); VarClear(matrRe_in); VarClear(matrIm_in);
end;

```

В приведенном выше листинге алгоритма передачи матрицы в Mathcad применяется тот же механизм, что и передаче вектора (рис.2). Результат вычисления возвращается в переменной out4 типа *olevariant*, которая с помощью специальных приемов преобразуется в динамический двумерный массив *matr_out*. И если во входной матрице было 5 строк и 10 столбцов, то в выходной матрице 10 строк и 5 столбцов, поскольку из Mathcad возвращается транспонированная матрица. Смысл прочих промежуточных проверок и преобразований очевиден из приведенных в листинге подробных комментариев.

Заключение

1. Проведенный анализ функциональных возможностей системы разработки программного обеспечения Delphi и системы компьютерной алгебры Mathcad свидетельствует о целесообразности их интеграции с целью совместного использования достоинств обеих систем.

Для Delphi – это легкость создания интерфейса пользователя, создание объектно-ориентированных программ любой сложности, работа практически с любыми базами данных, высокоразвитые средства отладки программного кода, возможность написания клиентов автоматизации для многих программ (в том числе и для Mathcad) [1]. Для Mathcad – это возможность работы с размерными величинами, а главное – наличие обширнейшей библиотеки для решения линейных, нелинейных уравнений и их систем, решение дифференциальных, интегральных уравнений, матричное исчисление и др. [2].

2. Приведенные в статье алгоритмы можно использовать в качестве отправной точки для интеграции Delphi и Mathcad в процессе проведения расчетов для учебных и научных целей. Это позволит исключить необходимость закупки для Delphi специализированных математических пакетов

или написания и отладки соответствующих алгоритмов самостоятельно, т.е. предоставится возможность использования полностью отлаженного и проверенного временем математического пакета Mathcad.

3. Полученный в результате интеграции Delphi и Mathcad универсальный инструмент позволит преподавателю или научному исследователю абстрагироваться от тонкостей математических алгоритмов и сконцентрироваться на решаемых физических задачах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Daniele Teti, Delphi Cookbook Second Edition, 2016. – 470 с.
2. Mathcad 15.0 User's Guide, Parametric Technology Corporation, 2011. – 170 с.

ABOUT DELPHI AND MATHCAD INTEGRATION

Kunkevich Sergey Vladimirovich, Ph.D., associate professor

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: SKunkevich@mail.ru

The issues of integration of the high-level object-oriented programming system Delphi and the computer algebra system Mathcad are considered.

УДК 621.01

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛА САЕ-СИСТЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРОЧНОСТНОГО АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОЕКТИРУЕМОГО С ПОМОЩЬЮ САД

¹Кункевич Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент

²Ермаков Александр Юрьевич, инженер-конструктор

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹SKunkevich@mail.ru

²ООО «КТМЗ», Калининград, Россия, e-mail: ²ey@balt-energo.ru

Производилось сравнение двух САЕ-систем APM FEM и COMSOL MULTIPHISICS для решения инженерных задач на этапе проектирования элементов энергетического оборудования с помощью САД-системы КОМПАС-3D. Рассматривались технические характеристики программ, возможность решения поставленных задач, а также взаимодействие с системой САД.

Введение

В современном производстве, строительстве и других промышленно-инженерных областях не обойтись без расчета прочности конструкций при определенных нагрузках. При проведении прочностных расчетов моделируется эксплуатационный режим изделия, действующие нагрузки, учитываются физические характеристики материалов и результаты аналитических исследований [3].

Чтобы избежать ошибок и лишних производственных затрат, расчет выполняется на начальных этапах проектирования изделия.

Расчет прочности позволяет:

- определить степень влияния на деталь или конструкцию в целом всех воздействующих сил;
- высчитать максимально допустимые нагрузки;
- оптимально подобрать материал, габариты конструкции, толщину стенок нагружаемых деталей и способ соединения с другими элементами;
- обеспечить безопасность изделия, соответствие строительным нормам и стандартам.

В процессе оценки прочности обязательно соблюдение требований ГОСТов и нормативных документов.

Практически во всех предприятиях среднего и крупного производства расчеты выполняются в специализированных CAE-системах [1,2].

CAE-системы – это разнообразные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов) оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Помогают убедиться в работоспособности изделия, без привлечения больших затрат времени и средств.

Компьютерные модели в свою очередь могут быть составлены во встроенном графическом модуле данных систем, если они предусмотрены, либо импортированы из CAD-систем.

CAD-системы – это разнообразные программные продукты, с пакетом модулей для создания трехмерных объектов с детализацией их особенностей и возможностью получения полного комплекта конструкторско-проектной документации.

В статье рассматриваются две CAE системы:

1. Программный пакет COMSOL Multiphysics компании COMSOL, Inc. [1] позволяет моделировать конструкции, устройства и процессы во всех областях инженерных, производственных и научных исследований. Это интегрированная среда численного моделирования, в которой можно выполнить все этапы построения расчетных моделей от создания геометрии, определения свойств материалов и описания физических явлений, до настройки решения и визуализации результатов, что позволяет получать точные и надежные результаты. На базе созданных моделей предусмотрена возможность создания автономных приложений.

2. Приложение APM FEM, производства научно-технического центра «АПМ» [2], предназначено для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D, и визуализации результатов этих расчетов. В состав APM FEM входят инструменты подготовки деталей и сборок к расчёту, задания граничных условий и нагрузок, а также встроенные генераторы конечно-элементной сетки и постпроцессор. Этот функциональный набор позволяет смоделировать твердотельный объект и комплексно проанализировать поведение расчётной модели при различных воздействиях с точки зрения статике, собственных частот, устойчивости и теплового нагружения.

Поскольку функционал программного пакета COMSOL MULTIPHISICS гораздо шире, анализ проводился только в рамках статического расчёта прочности методом конечных элементов. Цель сравнительного анализа состояла в определении величины расхождения результатов расчётов, причин получаемых расхождений, а также определения области применения рассматриваемых систем.

1. Сравнительный анализ простейших расчетных моделей

Проведение сравнительного анализа результатов прочностных расчетов в пакете COMSOL Multiphysics и приложении APM FEM на моделях реальных деталей со сложной поверхностью представляет определенные трудности, поэтому было принято решение сначала произвести сравнение на простейших геометрических моделях, которые обеспечат «прозрачное» сравнение по основным расчетным параметрам. Сравнению подлежали найденные программным способом максимальные и минимальные напряжения и деформации. Во всех примерах в качестве материала использовалась Сталь 40х (ГОСТ 4543-2016).

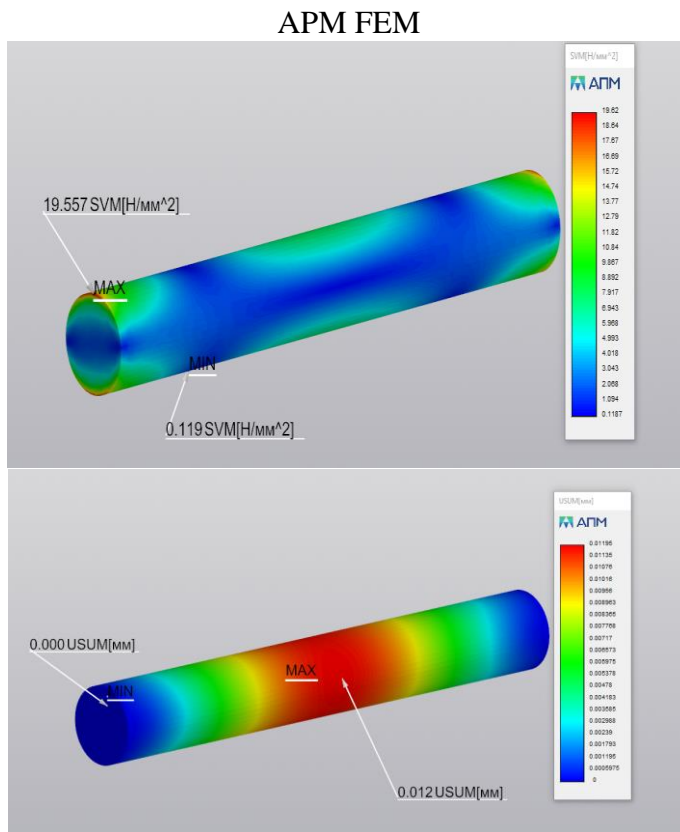
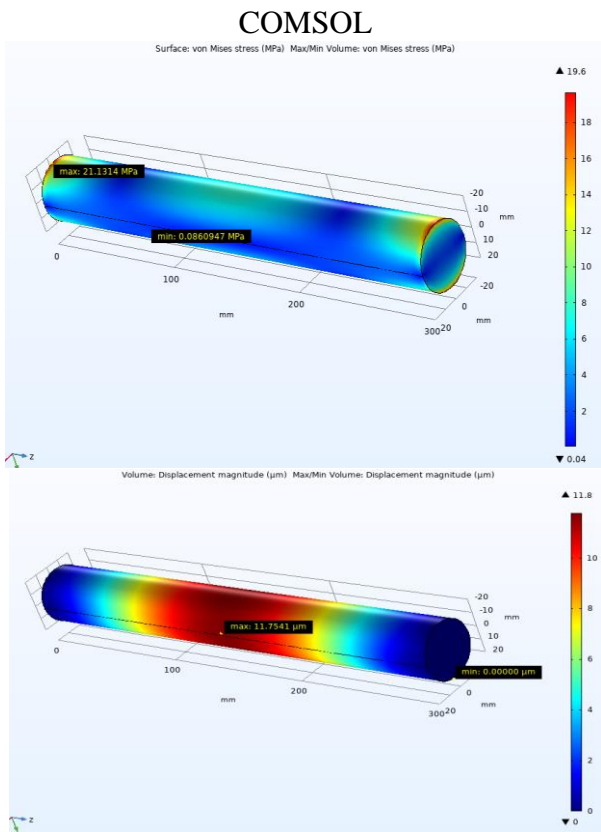


Рис. 1. Сравнение напряжений и деформаций в стержне

На рис. 1 представлены результаты прочностного расчета сплошного стержня длиной 300 мм и диаметром 40 мм. Стержни фиксировались по торцам, распределенная нагрузка по длине стержня составила 400 кг (3922,7 Н). Максимальные напряжения, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (верхние рисунки), составили соответственно 21,13 МПа и 19,56 МПа, т.е. различие составило 7,1%. В точках минимума различие составило 27,7%.

Максимальные деформации, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (нижние рисунки) составили соответственно 11,75 мкм и 12 мкм, т.е. различаются расчеты на 1,6%

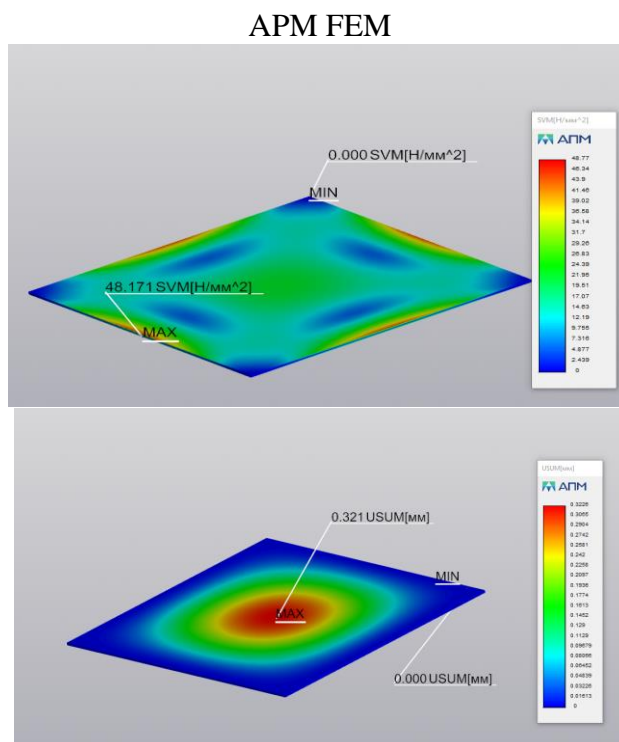
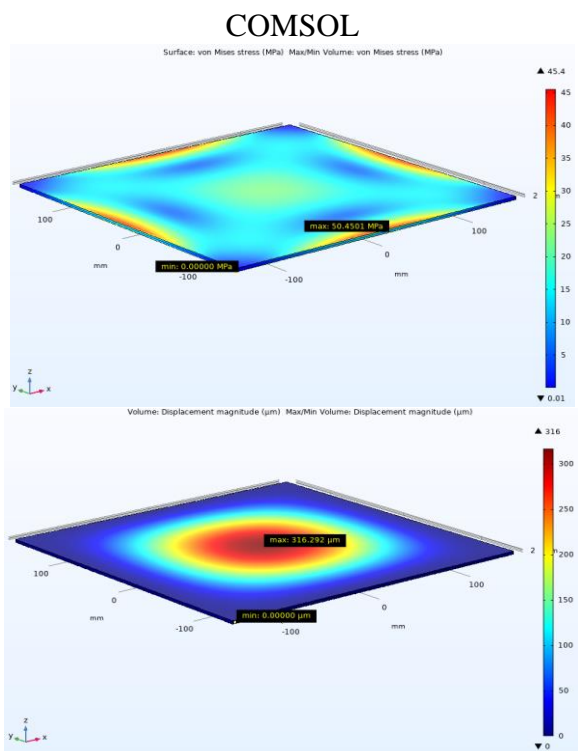


Рис. 2. Сравнение напряжений и деформаций в пластине

На рис. 2 представлены результаты прочностного расчета пластины размером 300 x 300 мм, толщиной 3 мм. Пластины фиксировались по краям, распределенная нагрузка по всей площади пластины составила 150 кг (1471 Н). Максимальные напряжения, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (верхние рисунки), составили соответственно 50,45 МПа и 48,17 МПа, т.е. различие составило 3,33%.

Максимальные деформации, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (нижние рисунки) составили соответственно 316 мкм и 321 мкм, т.е. различаются расчеты на 1,95%

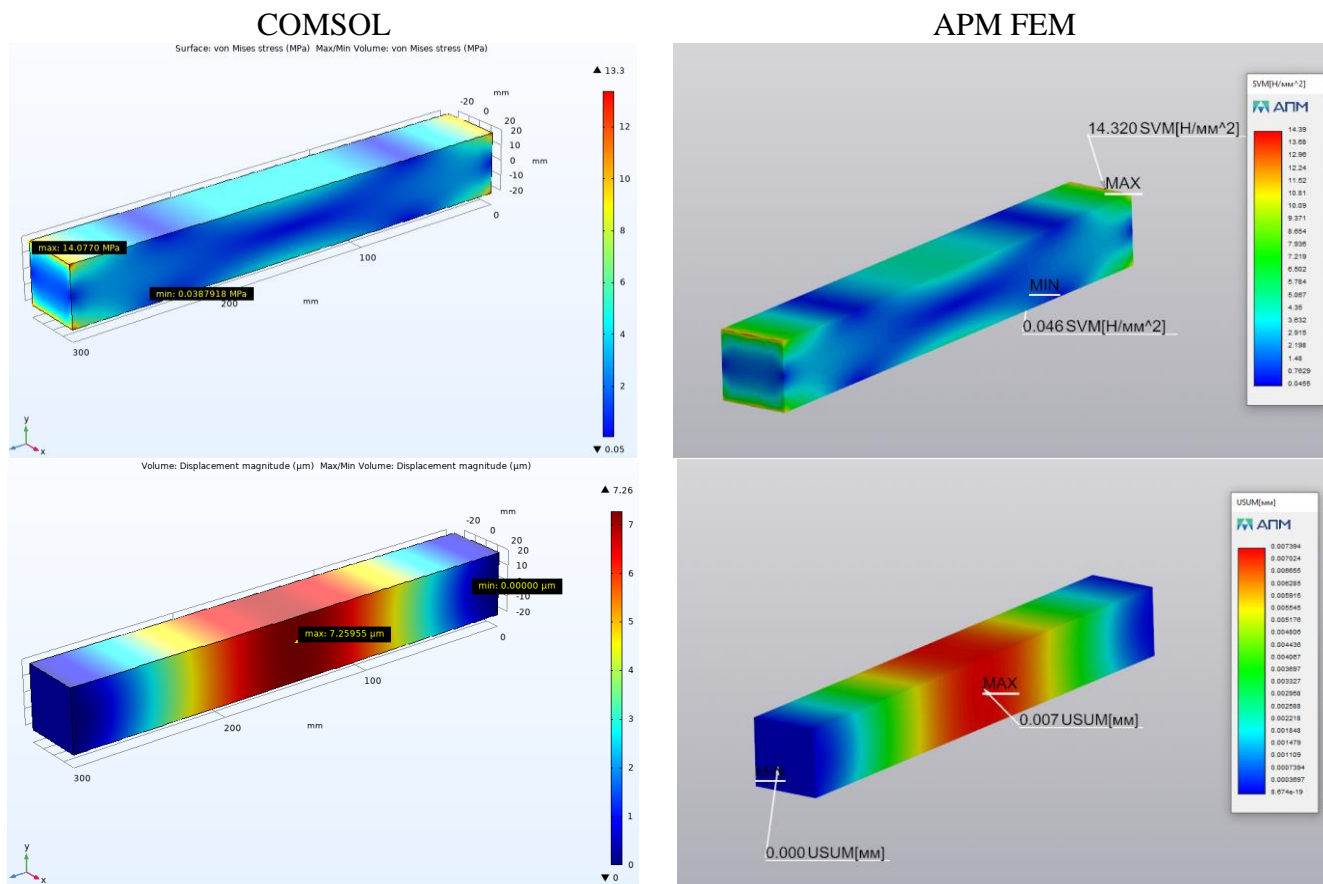


Рис. 3. Сравнение напряжений и деформаций в брус

На рис. 3 представлены результаты прочностного расчета балки квадратного сечения размером 40 x 40 мм, длиной 300 мм. Балки фиксировались по торцам, распределенная нагрузка по всей длине балки составила 400 кг (3922,7 Н). Максимальные напряжения, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (верхние рисунки), составили соответственно 14,08 МПа и 14,32 МПа, т.е. различие составило всего 1,75%. В точках минимума различие составило 15,0%.

Максимальные деформации, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (нижние рисунки) составили соответственно 7,26 мкм и 7,0 мкм, т.е. различаются расчеты на 1,75%

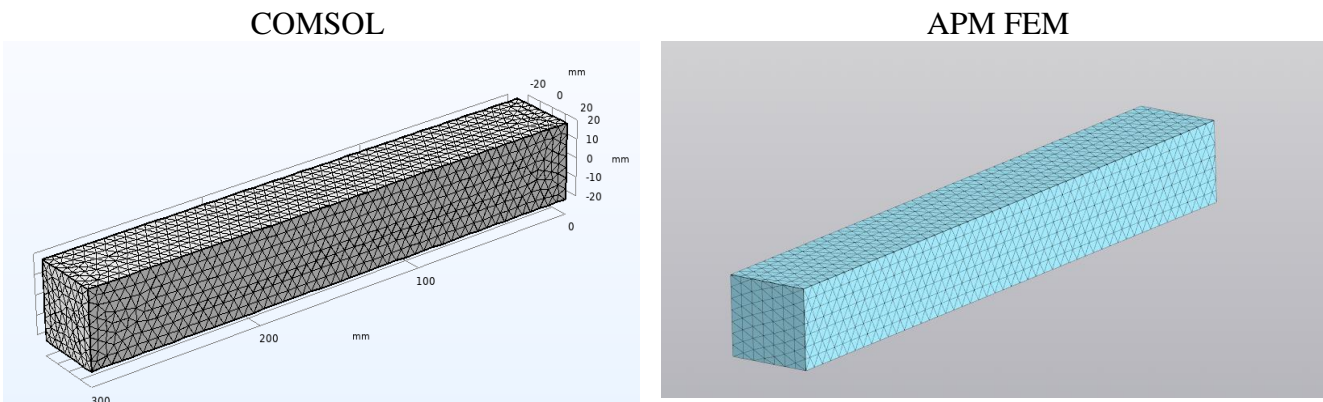


Рис. 4. Сравнение КЭ-сетки в брус

В рассмотренных примерах при расчете в COMSOL и APM FEM использовались одинаковые геометрические модели, условия фиксации и нагружения. Тем не менее, значения максимальных напряжений различались от 3,33% до 7,1%; значения минимальных напряжений различались до 27,7%, а максимальные перемещения различались от 1,6% до 1,95%. Причем указанные различия в расчетных максимальных значениях приходились на зоны с высокой концентрацией напряжений (с большими градиентами напряжений). Причиной такого поведения расчетных систем может быть различие в принципах формирования конечно-элементной сетки. Так, на примере бруса (рис. 4), в APM FEM по умолчанию строится равномерная сетка по всем граням, а в COMSOL при приближении к зоне фиксации по торцам (зоне максимальных концентраций) происходит переход от равномерной к анизотропной сетке с некоторым сгущением, поэтому результаты получаются точнее. Аналогичная картина наблюдается и с другими моделями.

2. Сравнительный анализ расчетных моделей деталей насоса

На рис. 5 представлены результаты прочностного расчета напорной крышки центробежного насоса (вид изнутри). Материал крышки – Сталь 20Х. Крышки фиксировались по прижимной кромке к корпусу насоса, внутреннее давление на нагнетании составляет 8,2 МПа, к шпилькам приложено суммарное тянущее усилие 1881,6 кН). Максимальные напряжения, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (верхние рисунки), составили в среднем соответственно 195 МПа и 120 МПа и сконцентрированы в зоне желтого ободка (на рисунке слева). Данные напряжения обусловлены в основном действием внутреннего давления на нагнетании. После анализа напряженного состояния крышки данная зона была укреплена за счет увеличения толщины стенки.

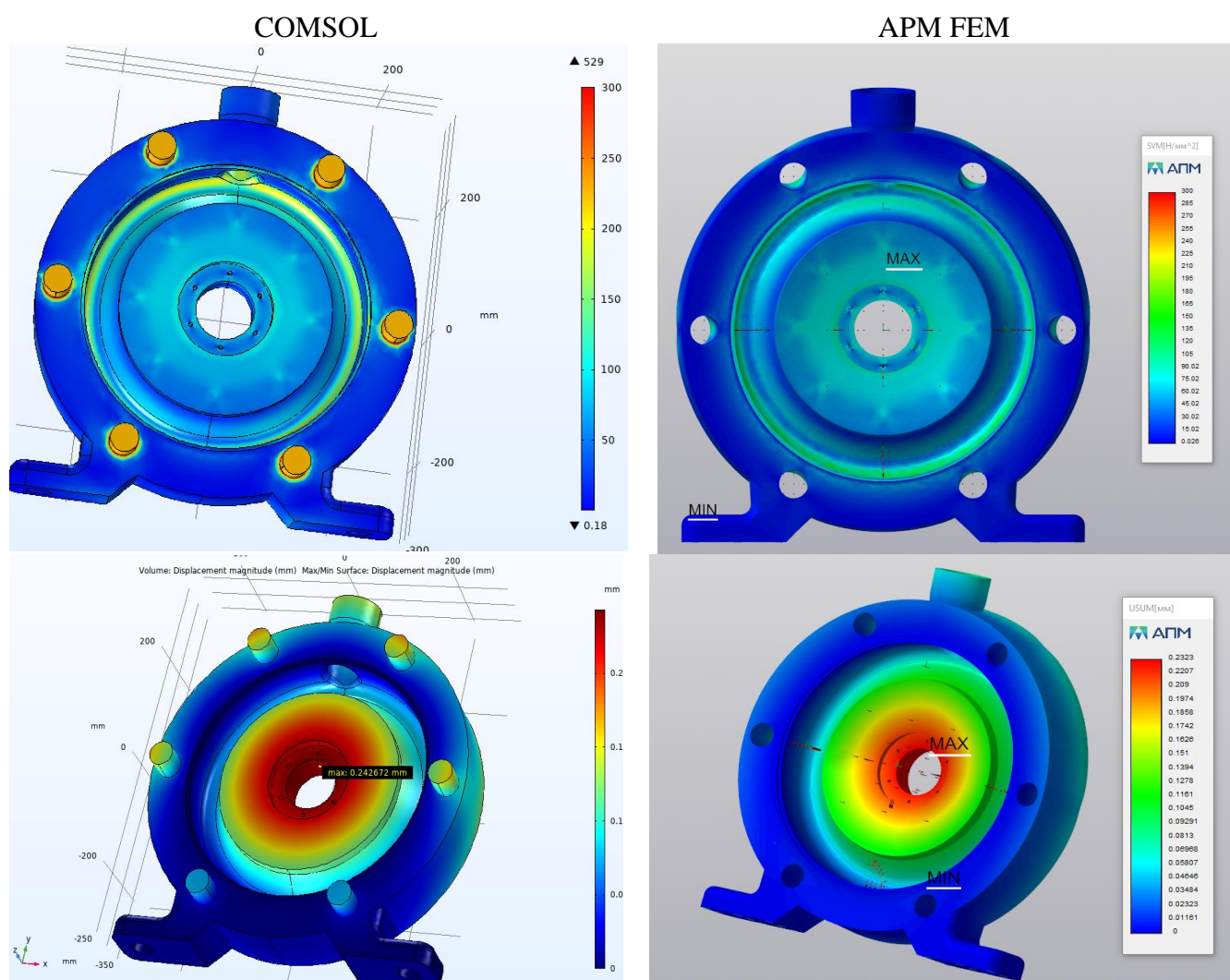


Рис. 5. Сравнение напряжений и деформаций в напорной крышке центробежного насоса

Максимальные деформации, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (нижние рисунки) составили соответственно 0,2427 мм и 0,23 мм, т.е. различаются на 4,16%

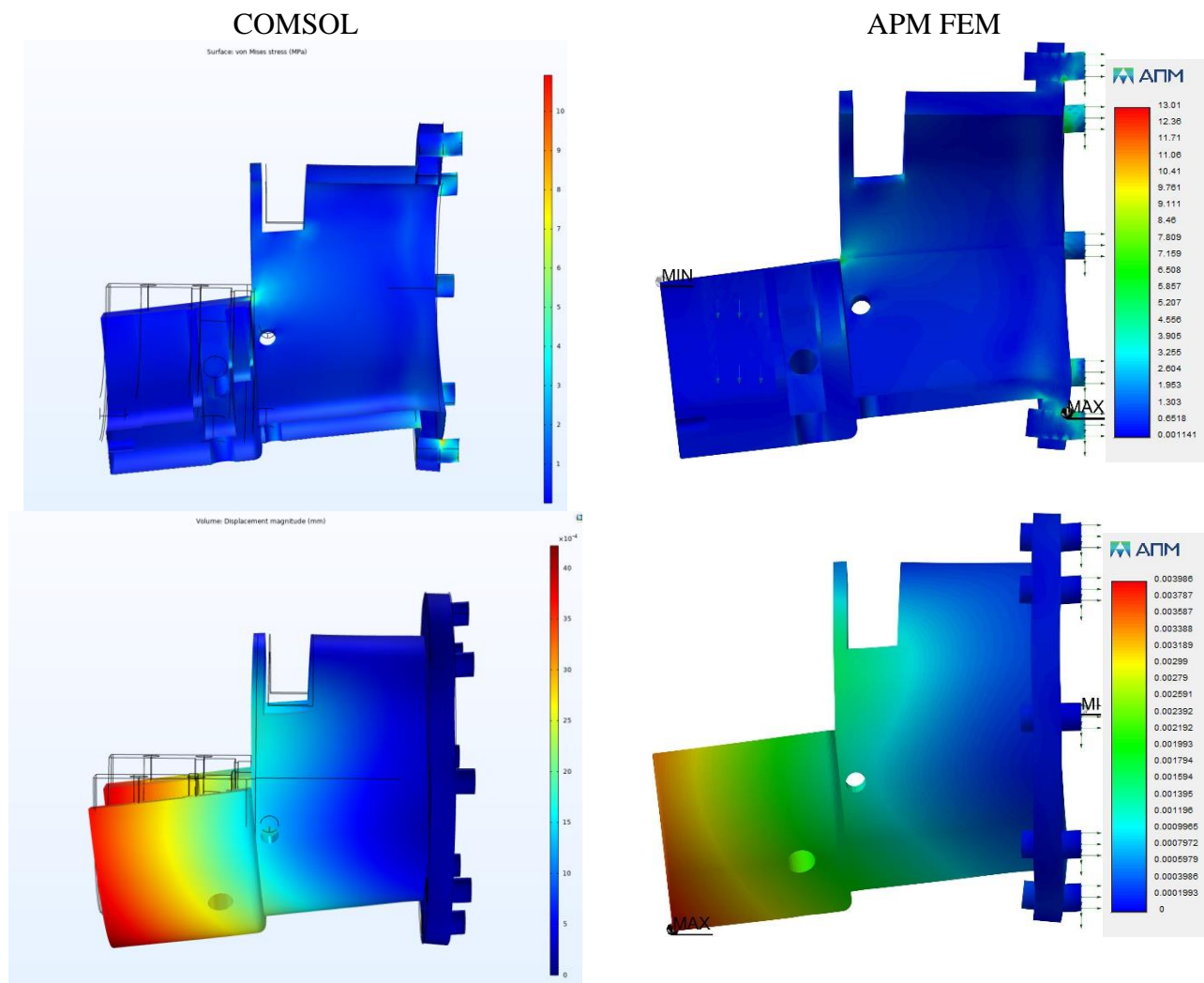


Рис. 6. Сравнение напряжений и деформаций в корпусе подшипника центробежного насоса

На рис. 6 представлены результаты прочностного расчета корпуса подшипника центробежного насоса. Материал корпуса – Сталь 20Х. В модели зафиксированы стяжные болты. В корпусе устанавливается подшипник качения, который нагружается силой в 666,4 Н. Максимальные напряжения, рассчитанные в COMSOL и APM FEM (верхние рисунки), составили в среднем соответственно 10,9 МПа и 13,0 МПа и сконцентрированы в зоне изгиба. Данные напряжения обусловлены действием силы тяжести ротора. На изображениях показан характер деформации за счет применения масштабирующего множителя к фактической деформации деталей.

Заключение

Анализ результатов расчета напряжений и деформаций программным пакетом COMSOL Multiphysics и приложением APM FEM показывает неплохую их сходимость. На основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Программный пакет COMSOL Multiphysics и приложение APM FEM являются продуктами разного целевого назначения и прямое их сравнение является не вполне корректным. COMSOL – это интегрированная среда численного моделирования, в которой очень гибко можно выполнить все этапы построения расчетных моделей практически во всех областях науки и техники и позволяет получать точные и надежные результаты за счет различных инструментов оптимизации. APM

FEM – это программная надстройка над САД системой КОМПАС-3D, в которой «прошит» определенный фиксированный функционал (статический расчет прочности, деформации, устойчивости и т.д.).

2. Поскольку приложение APM FEM [2] предназначено для выполнения экспресс-расчетов твердотельных объектов в системе КОМПАС-3D, оно идеально подходит для использования конструкторской группой КБ для принятия оперативных решений по конструкции деталей оборудования и сборок.

3. Программный пакет COMSOL Multiphysics [1] больше подходит для расчетно-аналитической группы КБ, сферой деятельности которой должны быть более глобальные расчеты, связанные с уточненным прочностным расчетом, деформацией, анализом сборок на вибрацию, собственные частоты, решение вопросов роторной динамики, динамики многотельных систем, стационарного и нестационарного теплообмена, вычислительной гидродинамики и т.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в Comsol Multiphysics, 2020. – 209 с.
2. APM FEM. Система прочностного анализа для КОМПАС-3D: Руководство пользователя. ООО НТЦ «АПИМ», 2020. – 65 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. Серия «Механика в техническом университете». – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.

CAE SYSTEMS COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FUNCTIONAL IN SOLVING THE STRENGTH ANALYSIS PROBLEMS OF ELEMENTS OF POWER EQUIPMENT DESIGNED WITH CAD

¹Kunkevich Sergey Vladimirovich, Cand. tech. Sciences, Associate Professor

²Ermakov Alexander Yurievich, design engineer

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹SKunkevich@mail.ru

²KTMP LLC, Kaliningrad, Russia, e-mail: ²ey@balt-energo.ru

A comparison was made of two CAE systems APM FEM and COMSOL MULTIPHISICS for solving engineering problems at the stage of designing elements of power equipment using the CAD system KOMPAS-3D. The technical characteristics of the programs, the possibility of solving the assigned tasks, as well as interaction with the CAD system were considered.

УДК 62-533.6

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПО УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ ОБМУРОВКИ

¹Никифоров Александр Степанович, профессор, д-р техн. наук

²Приходько Евгений Валентинович, профессор, канд. техн. наук

³Кинжибекова Акмарал Кабиденевна, доцент, канд. техн. наук

⁴Карманов Амангельды Ерболович, доктор PhD

Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан, e-mail: ¹aleke4599@mail.ru;

²john1380@mail.ru; ³akmaral70@mail.ru; ⁴aman270685@mail.ru

Рассматриваются вопросы оценки рисков работы элементов обмуровки котельного агрегата в зависимости от теплофизических и прочностных параметров составляющих ее элементов под воздействием высоких температур и агрессивной среды. Цель работы – оценка остаточного ресурса котельного агрегата по условиям надёжности работы обмуровки.

Введение

Одной из важных современных задач энергетики является увеличение показателей энергоэффективности котельных агрегатов малой и средней мощности за счёт увеличения их ресурса. При этом длительность межремонтной кампании во многом определяется состоянием теплоизоляционных конструкций, на надёжность работы которых оказывают влияние условия эксплуатации.

В соответствие с этим оценка такого параметра как надёжность осложняется из-за того, что одна часть условий эксплуатации, влияющих на надёжность работы футеровки не может быть контролируема, а другая часть может быть задана с той или иной степенью неопределенности. Безотказная работа конкретно взятого агрегата зависит от качества обмуровочных материалов, от степени стабильности технологического процесса, от уровня технологической дисциплины [1].

При анализе работы тепловой изоляции в составе обмуровки происходит её сжатие вследствие температурного расширения слоя огнеупорного материала. Кроме этого, процесс монтажа теплоизоляции часто сопровождается сжатием слоя теплоизоляции при креплении обмуровки к каркасу котла. Всё это приводит к увеличению коэффициента теплопроводности изоляции и, как следствие, повышению тепловых потерь в окружающую среду. Например, если в качестве теплоизоляции применяется керамическая фибра, которая обладает достаточно хорошими характеристиками такими как низкий коэффициент теплопроводности и теплоемкости; высокой стабильностью и сопротивляемостью при термическом ударе; обладает большим пределом прочности на разрыв, то при степени сжатия этого материала на 37 %, коэффициент теплопроводности слоя увеличивается на 73 % [2].

Таким образом, теплопроводность тепловой изоляции является одним из существенных условий эксплуатации, влияющий не только на выбор требуемой толщины теплоизоляционного слоя, но и определяет величину тепловых потерь через обмуровку котла. С другой стороны, в процессе эксплуатации котельной установки происходит изменение толщины этого слоя вследствие его деформации под действием теплового расширения огнеупоров. Следовательно, еще один фактор, т.е. величина самого теплоизоляционного слоя, становится также одним из определяющих параметров. Например, обмуровка состоящая из шамотного огнеупорного слоя и теплоизоляции из минеральных матов марки 100 при деформации изоляции на 30 мм при начальной толщине 60 мм приводит к увеличению потерь тепла на 80%, а если в качестве тепловой изоляции используется минеральная вата, то при той же степени деформации тепловые потери увеличиваются в 2,3 раза.

Исследования, проведенные для котла ДКВР-20 показали, что сжатие слоя теплоизоляции на 30 % приводит к повышению плотности потока теплоты на 32,7 %, а 50 %-ное – влечет за собой увеличение теплового потока через обмуровку на 68,9 %. Таким образом, установлена зависимость между сжатием слоя тепловой изоляции и потерями теплоты в окружающую среду. При выходе на стационарный режим работы деформации постепенно уменьшаются, но полностью не исчезают [3].

На основании данных исследований можно сделать вывод, что использование теплоизоляционных материалов с низким коэффициентом теплопроводности, а также соблюдение правил монтажа обмуровки и правил технической эксплуатации приведёт к снижению тепловых потерь и расхода топлива. Использование же изоляции не соответствующей условиям эксплуатации приведёт не только к нарушению правил технической эксплуатации (повышенным температурам на поверхности обмуровки), но и к сверхнормативным тепловым потерям. Следует отметить, что увеличение тепловых потерь на 0,1 % для современных котлов эквивалентно перерасходу примерно 2 тонн условного топлива в год на 1 МВт установленной мощности [4].

Рациональная теплоизоляция должна сочетать в себе, с одной стороны, теплофизические свойства, позволяющие соблюдать установленные нормы тепловых потерь с поверхности обмуровки и продолжительность эксплуатации и, с другой стороны, затраты на материалы и монтаж

изоляции. Материалы, используемые в обмуровках, должны обладать малой теплопроводностью, небольшой массой и достаточной прочностью.

Температурные напряжения и деформации возникают как в огнеупорном слое, так и в теплоизоляционном материале. Расчет температурных напряжений в обмуровке котла показал значительное превышение возникающих в огнеупорном слое напряжений над допустимыми значениями. Например, максимальное значение напряжения сжатия больше допустимого почти в четыре раза, а напряжения растяжения – в девять раз. В результате в огнеупорном слое появляются трещины и происходят сколы на внутренней поверхности обмуровки [2].

Основой расчётов показателей надёжности будут являться статистические данные, так как статистика работы агрегата лучше отражает специфику его работы, нежели производимые расчёты.

Среднюю наработку до отказа вычисляют по формуле [5]

$$T_1 = \int_0^{\infty} P(t)dt \quad (1)$$

где $P(t)$ – вероятность безотказной работы, $1/c$.

Вероятность безотказной работы, используемая в формуле отражает специфику его работы, но является показателем предыдущей работы агрегата. Учитывая сложные условия эксплуатации котельных агрегатов (высокие температуры, агрессивные среды и др.) можно сказать, что техническое состояние агрегата (в рассматриваемом случае обмуровки) может измениться в любой момент и использование показателей, не учитывающих эти изменения некорректно. Можно привести следующие условия эксплуатации, влияющие на надёжность обмуровки, которые могут значительно изменяться: качество используемых для обмуровки материалов и производимых работ; факторы эксплуатации (температура, агрессивные среды и др.) и т.д.

Методика определения остаточного ресурса

Следовательно, для определения параметров надёжности работы оборудования необходимо учитывать не только имеющиеся эксплуатационные данные работы котельных агрегатов в различных режимах, но и отклонения теплофизических и термомеханических свойств материалов обмуровки.

В качестве примера рассмотрим схему определения остаточного ресурса обмуровки котла ДКВР-20. Параметром, при котором необходимо выводить котельных агрегат в ремонт (по условиям надёжности работы обмуровки) является наименьшая толщина обмуровки. Согласно имеющимся методикам, на основе статистических данных производится расчёт средней скорости снижения толщины в течение рабочей кампании. На основании замеров остаточного значения толщины обмуровки (при очередном останове котла) производится расчёт остаточного ресурса как отношение слоя обмуровки, который может быть сработан до минимально допустимой толщины к средней скорости снижения толщины. Недостатком такого определения остаточного ресурса является то, что значение средней скорости снижения толщины обмуровки учитывает условия эксплуатации предыдущей рабочей кампании.

В разработанном нами способе расчёт средней скорости снижения толщины в течение рабочей кампании идёт с учётом корректирующего коэффициента, который учитывает условия эксплуатации данной рабочей кампании.

Анализ работы оборудования на различных режимах, а также информация об аварийных ситуациях позволяет определить цифровые значения влияния отклонения условий эксплуатации на скорость снижения толщины обмуровки (таблица 1). Например, при превышении допустимых температурных напряжений в обмуровке на величину от 4 до 6 %, средняя скорость снижения толщины в течение рабочей кампании увеличиться на 6 %, соответственно корректирующий коэффициент для условий эксплуатации K_1 будет равен 1,06. При увеличении коэффициента теплопроводности обмуровки на величину от 2 до 4 % средняя скорость снижения толщины в течение рабочей кампании увеличиться на 2 % и корректирующий коэффициент K_3 будет равен 1,02.

Значение корректирующего коэффициента для определения снижения толщины обмуровки

	Величина корректирующего коэффициента					Корректирующий коэффициент для условий эксплуатации, K_i
	Значение отклонения условий эксплуатации					
Условия эксплуатации	от 0 до 2 %	от 2 до 4 %	от 4 до 6 %	от 6 до 8 %	от 8 до 10 %	
Температурные напряжения в обмуровке	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,06
Толщина теплоизоляционного слоя	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,02
Изменение теплопроводности слоя	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,02
Плотность материала обмуровки	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	-
Тепловые потери	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,03
Значение итогового корректирующего коэффициента K						1,136

Величина итогового корректирующего коэффициента K рассчитывается как произведение всех корректирующих коэффициентов для условий эксплуатации K_i . В данном случае значение итогового корректирующего коэффициента K равно 1,136.

Произведём расчёт средней скорости снижения толщины в течение рабочей кампании с учётом корректирующего коэффициента K по формуле, мм

$$\Delta\sigma_K = \Delta\sigma \cdot K \quad (2)$$

где $\Delta\sigma$ – средняя скорость снижения толщины обмуровки в течение рабочей кампании без учёта условий эксплуатации, мм.

Значение остаточного ресурса n_K , с учётом корректирующего коэффициента условий эксплуатации определим по формуле, ч

$$n_K = \frac{\delta_{ост} - \delta_{кр}}{\Delta\sigma_K} \quad (3)$$

где $\delta_{ост}$ – минимальная остаточная толщина слоя обмуровки на момент измерения, мм;
 $\delta_{кр}$ – критическая толщина обмуровки.

Результаты исследования

Произведём расчёт остаточного ресурса обмуровки котла ДКВР-20 при его останове вследствие технологического снижения подачи топлива. На момент остановки котёл отработал 5200 часов. Минимальная остаточная толщина рабочего слоя обмуровки составила 160 мм.

Расчёт температурных напряжений при разогреве показывает, что их значения превышали допустимые на величину около 5 %, чему соответствует корректирующий коэффициент для данных условий равный 1,06.

Толщина теплоизоляционного слоя вследствие неправильного монтажа и влияния условий эксплуатации снизилась на величину около 2 %, что соответствует корректирующему коэффициенту, равному 1,02.

На коэффициент теплопроводности рабочего слоя обмуровки из шамотного кирпича оказывает влияние, как воздействие топлива, так и образование микротрещин вследствие температурных напряжений. В данном случае измерения показали изменение коэффициента теплопроводности соответствующее корректирующему коэффициенту 1,02.

Значение тепловых потерь в окружающую среду соответствует коэффициенту 1,03 и является следствием сжатием изоляции при монтаже и воздействием факторов эксплуатации. Итоговый корректирующий коэффициент при данных условиях эксплуатации составит 1,136.

Примем, что рабочая кампания котла в среднем длится 7000-7500 часов (312,5 суток) до текущего ремонта; при этом при начальной толщине 250 мм, критическая толщина составляет 125 мм. При текущем ремонте производится ремонт износившейся части обмуровки (до 10 %), наружной обшивки и кирпичной кладки. Имеем снижение среднестатистического значения толщины огнеупорного слоя 0,4 мм/сут. При этом, если очередная кампания работы котла будет вестись в условиях, при которых значение итогового корректирующего коэффициента будет составлять 1,136, то будем иметь действительное снижение значения толщины огнеупорного слоя 0,454 мм/сут (0,0189 мм/ч).

Соответственно, остаточный ресурс n_k в соответствии с формулой (3) будет определяться

$$n_k = \frac{160 - 125}{0,0189} = 1852 \text{ ч.}$$

Таким образом при имеющихся условиях эксплуатации, толщина рабочего слоя обмуровки достигнет критического значения через 1852 ч, т.е. время рабочей кампании до вывода в текущий ремонт составит 7052 ч.

Выводы

Проведенные исследования, на примере котла ДКВР-20, показывают как могут влиять на остаточные ресурс, а это один из важнейших параметров надежности работы котлоагрегата, такие факторы как: температурные напряжения и деформации в огнеупорном и теплоизоляционном слоях обмуровки; теплопроводность обмуровочных материалов, которая в процессе эксплуатации установки существенно влияют на величину тепловых потоков в окружающую среду и, соответственно, значительно возрастают сами тепловые потери. На основе представленных материалов произведена оценка остаточного ресурса котельного агрегата по условиям надёжности работы обмуровки с учётом условий эксплуатации.

Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP09561854).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анферов В.Н., Васильев С.И., Кузнецов С.М. Надёжность технических систем. – М.: Директ-Медиа, 2018. – 108 с.
2. Кинжибекова А.К., Никифоров А.С., Приходько Е.В. Влияние температурных деформаций кладки на тепловые потери теплоиспользующих агрегатов. Промышленная энергетика. № 12. 2007. С. 34 – 35.
3. Карманов А.Е., Приходько Е.В., Никифоров А.С. Исследование теплофизических параметров теплоизоляционных материалов. Наука. Технологии. Инновации // Сборник научных трудов в 10 ч. / под ред. доц. О.В. Боруш. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – Ч. 4. С. 215-219.
4. Мунц В.А. Энергосбережение при производстве тепловой энергии и анализ его экономической эффективности / В.А. Мунц, Ю.Г. Мунц. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. – 232 с.
5. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 32 с.

INCREASING THE RELIABILITY OF OPERATION OF BOILER UNITS UNDER THE CONDITIONS OF OPERATION OF THE LINING ELEMENTS

¹Nikiforov Aleksandr Stepanovich, d.t.s., professor

²Prikhodko Evgeniy Valentinovich, c.t.s., professor

³Kinzhibekova Akmaral Kabidenovna c.t.s., assistant professor

⁴Karmanov Amangeldy Erbolovich, PhD

Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan, e-mail: ¹aleke4599@mail.ru;

²john1380@mail.ru; ³akmaral70@mail.ru; ⁴aman270685@mail.ru

The article discusses the issues of assessing the risks of the operation of the elements of the lining of the boiler unit, depending on the thermophysical and strength parameters of its constituent elements under the influence of high temperatures and an aggressive environment. The purpose of the work is to assess the residual resource of the boiler unit according to the conditions of the reliability of the lining operation.

УДК 629.12.037.5.001

ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ МУФТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ГРЕБНОГО ВАЛА

¹Ореховский Евгений Михайлович, аспирант, инженер кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

²Толмачев Александр Викторович, канд. тех. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹evgenij.orekhovskij@klgtu.ru; ²avtol03071952@mail.ru

Представлен проверочный прочностной расчет конического бесшпоночного соединения полумуфты с гребным валом судна снабжения «НАРВАЛ», в котором во время приёмки представителем Регистра обнаружилось, что размеры конических посадочных поверхностей в чертеже полумуфты не соответствуют фактическим. Также в этой статье объясняется возможная причина возникновения этого несоответствия.

В процессе ремонта гребного вала правого борта судна снабжения «НАРВАЛ» после демонтажа полумуфты (6) было обнаружено, что коническая втулка (гильза-5) конусной посадки не перекрывает контрольное масляное отверстие полумуфты (7), что не соответствует данным сборочного чертежа полумуфты судостроительной фирмы (см. рис. 1). В связи с изменением размеров посадочных поверхностей, потребовался проверочный расчет на прочность посадки полумуфты гребного вала в соответствии с Правилами классификации и постройки морских судов Российского Морского Регистра Судоходства 2021 года.

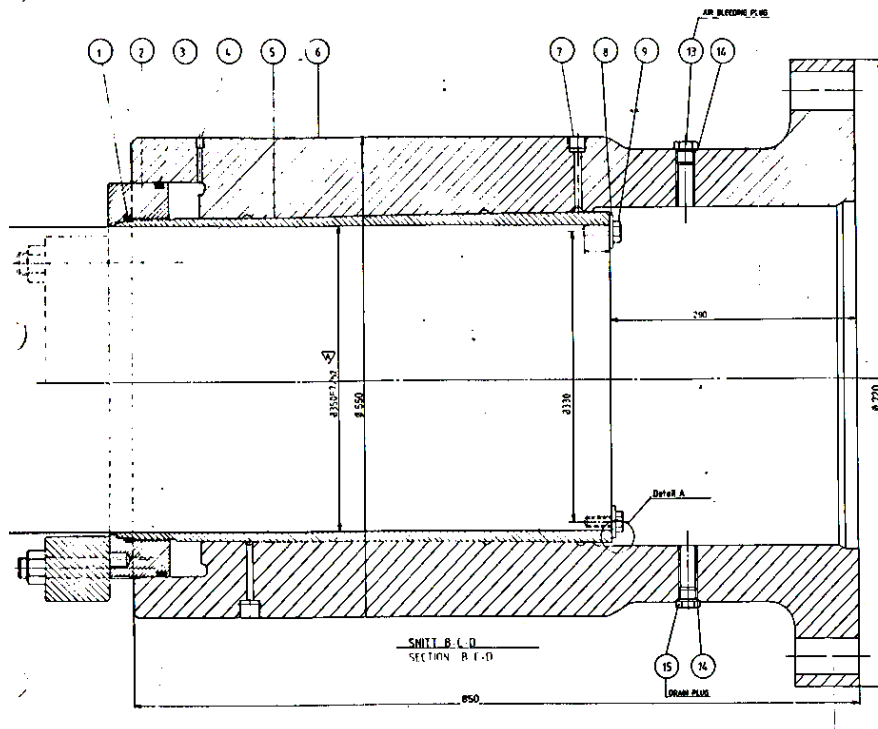


Рис. 1. Сборочный (монтажный) чертеж посадки полумуфты на гребной вал

Основные детали полумуфты гребного вала были осмотрены, сфотографированы и измерены (рис. 2, 3, 4, 5, 6)



Рис. 2. Полумуфта гребного вала.
Вид на фланец



Рис. 3. Полумуфта гребного вала.
Вид на кормовой конец



Рис. 4. Промежуточная коническая втулка (гильза)



Рис. 5. Гайка-гидропоршень



Рис. 6. Посадочный конец гребного вала

Так как судовой валопровод изготовлен из материалов соответствующих зарубежным стандартам, был проведен анализ металлов, из которых изготовлены детали соединительного устройства. Элементный состав стали установлен рентген-флуоресцентным анализатором металлов «Olympus Delta Premium». Наиболее близкими по составу оказались следующие отечественные аналоги:

1. Гребной вал – Сталь 20 ГОСТ 1050-2013;
2. Полумуфта - сталь 4130 (ASTM), российский аналог Сталь 30ХМА ГОСТ 4543-2016;
3. Коническая втулка (гильза) - чугун СЧ35 ГОСТ 1412-85;

Расчеты прочности посадки полумуфты гребного вала с конической втулкой (гильзой) были выполнены в среде MathCAD-15. Основными (параметрами), которые проверялись на соответствие Регистру являлись: осевое перемещение ступицы при монтаже (1) и натяг на диаметре гребного вала (2), выполненные в соответствии с [1]. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

$$\Delta h = \left(80 \frac{B}{h \cdot z} \cdot \sqrt{\left(\frac{1910 \cdot P \cdot e \cdot L^3}{n \cdot D_w} \right)^2 + T^2} + \frac{D_w \cdot (\alpha_y - \alpha_w) \cdot (t_e - t_m)}{z} \right) \cdot k \quad (1)$$

$$\Delta D = \left(80 \frac{B}{h \cdot z} \cdot \sqrt{\left(\frac{1910 \cdot P \cdot e \cdot L^3}{n \cdot D_w} \right)^2 + T^2} \right) \quad (2)$$

где: $h = 45,5 / 40,5$ см - рабочая (контактная) длина конической посадочной поверхности ступицы по чертежу и фактическая, см;

$B = 1,861 \times 10^{-5}$ (МПа)⁻¹ - коэффициент материала и формы соединения;

$z = 1:50$ - конусность посадочной поверхности;
 $Pe = 3945$ кВт - мощность главных двигателей, передаваемая на ВРШ;
 $L = 1$ - коэффициент ледового усиления для класса "ЛУ-1";
 $n = 149$ об/мин - частота вращения ВРШ;
 $D_w = 35$ см - внешний диаметр гребного вала в кормовой, средней и носовой части;
 $T = 239,2$ кН - упор винта на полном ходу;
 $\alpha_y = 11,6 \times 10^{-6}$ 1/град - коэффициент термического расширения материала ступицы (Сталь 30ХМА),
 $\alpha_w = 12,3 \times 10^{-6}$ 1/град - коэффициент термического расширения материала вала (Сталь 20),
 $t_e = 0$ °С - температура соединения в условиях эксплуатации;
 $t_m = 35$ °С - температура соединения в условиях монтажа;
 $k = 1,1$ - коэффициент для посадки с промежуточной втулкой.

Двухвинтовое судно снабжения «Нарвал» оснащено 4-х двигательной энергетической установкой. Нагрузки на судовой валопровод, гребной вал и полумуфту определялись через технические характеристики 2-х машинного движительного комплекса судна. Каждый валогребной комплекс включает следующие агрегаты:

1. Главный двигатель марки «BergenDiesel» модели «BRM 6» мощностью 2650 кВт при частоте вращения 750 об/мин;
 2. Главный двигатель марки «BergenDiesel» модели «BRM 8» мощностью 3535 кВт при частоте вращения 750 об/мин;
 3. Валогенератор мощностью 2240 кВт.
 4. Валопровод с устройством регулирования шага гребного винта.
- Все силовые агрегаты подключены к объединительно-раздаточному редуктору. Мощность, передаваемая на ВРШ, составила $Pe = 3945$ кВт.
 Частота вращения валопровода - $n = 149$ об/мин.
 Результаты вычислений по формулам (1) и (2) приведены в табл. 1

Таблица 1

Результаты вычислений

Вычисляемый параметр	Допускаемое значение	Нормальная коническая втулка $h = 45,5$ см	Укороченная коническая втулка $h = 40,5$ см
Осевое перемещение ступицы при монтаже, Δh , мм	34,0	26,9	30,3
Натяг на диаметре гребного вала, ΔD , мм	0,60	0,48	0,54
Коэффициент запаса прочности, ψ		1,454	1,292

В результате расчетов было установлено:

1. Рассчитанные осевые перемещения ступицы для оригинальной и укороченной промежуточных втулок с разными контактными длинами 455 мм и 405 мм соответственно, оказались ниже предельно-допустимого значения, что свидетельствует о достаточной прочности посадки конусного соединения, достигаемого при монтаже полумуфты гидравлическим способом.

2. Расчет напряжений в полумуфте с различной контактной длиной промежуточной втулки показал, что напряжения возникающие в ступице полумуфты в обоих случаях не превышают предела прочности материала ступицы (стали 30ХМА) с учетом запаса, предлагаемого Регистром.

Полученные результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что прочность посадки полумуфты гребного вала правого борта судна снабжения «НАРВАЛ» при уменьшении её длины будет обеспечена.

Для установления возможных причин снижения длины конической втулки произведено исследование напряжений возникающих в элементах соединения полумуфты с валом. В графическом пакете «Компас» получено 3-х мерное изображение сборки анализируемых деталей (рис. 7).

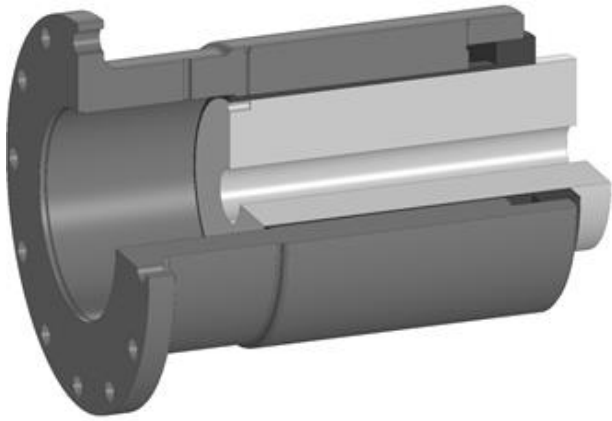


Рис. 7. 3-D модель муфты в сборе с валом

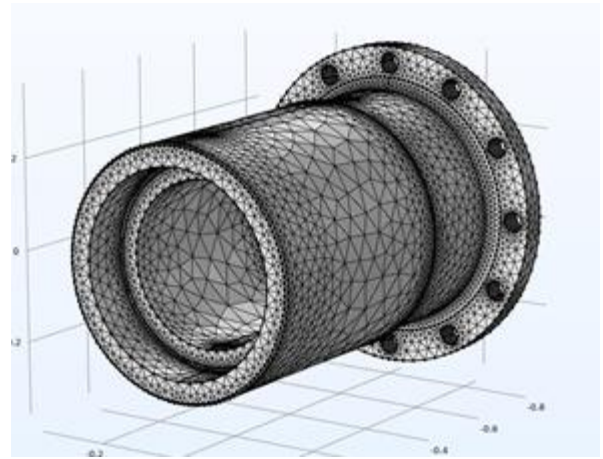


Рис. 8. 3-D модель муфты для расчета методом конечных элементов

Исследование прочности выполнено методом конечных элементов. Модель муфты представлена на рисунке 8. При монтаже муфты на её внутреннюю поверхность по винтовой канавке через отверстие подается давление масла равное 850 бар, которое создает распирающее усилие на внутренней поверхности полумуфты. Это воздействие вызывает деформации и напряжения в теле втулки. Это явление отражено на рисунках 9 и 10.

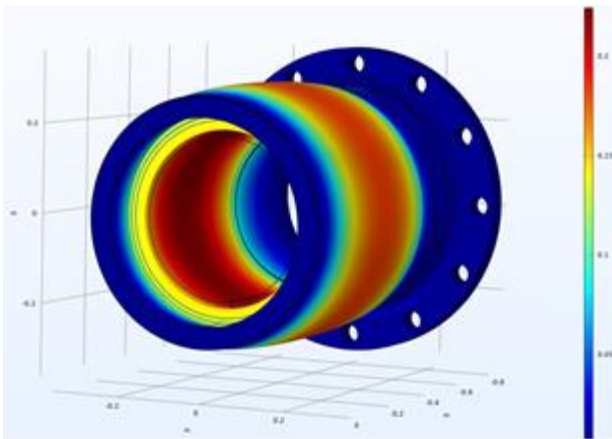


Рис. 9. Скалярная цветограмма деформаций полумуфты

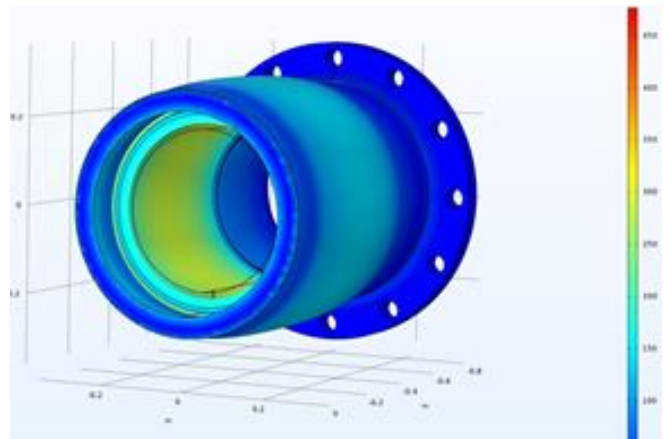


Рис. 10. Скалярная цветограмма напряжений полумуфты

Из рисунка 9 видно, что радиальная деформация центральной части полумуфты составляет 0.23 мм, позволяющая осуществить гидравлическую посадку полумуфты на вал с нормированным усилием. Напряжение, возникающее в полумуфте, сосредоточенное на внутренней контактной поверхности, не превышает допустимого напряжения для материала полумуфты. Давление масла в свою очередь действует на наружную поверхность конической втулки и создаёт в ней напряжение и деформации, передающиеся на вал.

На рисунке 11 приведена цветограмма показывающая, что максимальная радиальная деформация внутренней поверхности конической втулки составляет около 3 мм, что гарантирует ее надежное закрепление на гребном валу.

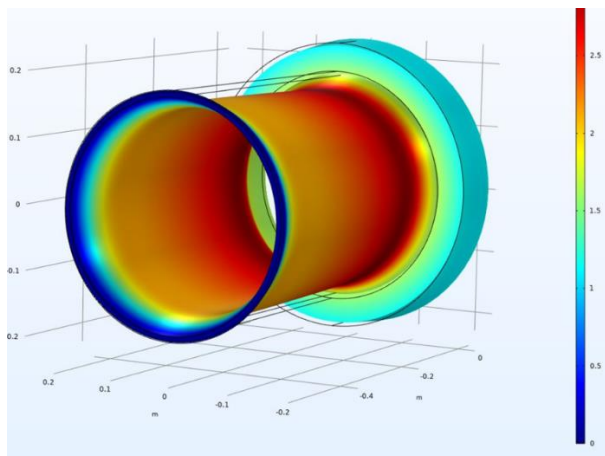


Рис. 11. Скалярная цветограмма деформаций конической втулки без гребного вала

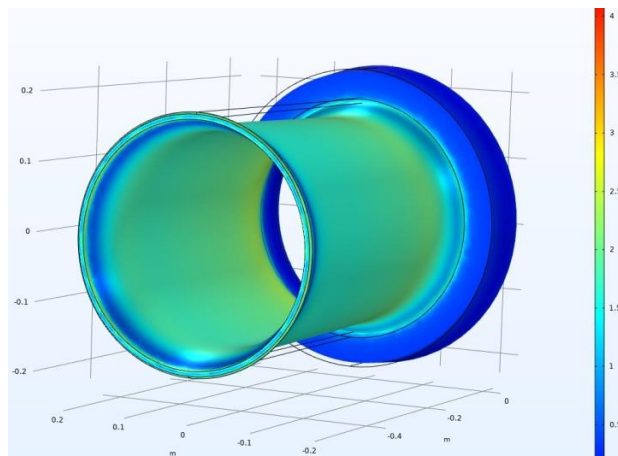


Рис. 12. Скалярная цветограмма напряжений конической втулки, надетой на гребной вал

Аналогичное нагружение конической втулки, надетой на гребной вал, показывает, что напряжения в ней более умеренные и не превышают значения 2500 МПа (рис. 12). Это напряжение обеспечивает надежное соединения полумуфты с гребным валом.

Вывод: снижение длины конической втулки безусловно привело к снижению прочности соединения гребного вала с полумуфтой, однако выполненный поверочный расчет показывает, что прочность посадки соединения остается достаточной для передачи крутящего момента и упора гребного винта. Напряжения в конической втулке, надетой на гребной вал, возрастают по мере снижения толщины стенки и достигают максимального значения у резьбового крепления гайки-поршня. Учитывая этот фактор, можно предположить, что именно из-за этих напряжений в определенный момент произошёл обрыв резьбовой части втулки, которая затем была вновь нарезана (восстановлена) при прошлом ремонте судна, из-за чего произошло уменьшение длины контакта конусной поверхности втулки и внутренней поверхности полумуфты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов (часть VII) / Российский морской регистр судоходства. - СПб, 2021. – 44 – 47 с.

TEST CALCULATION OF THE COUPLING PROPELLER SHAFT CONNECTIONS

¹Orekhovskii Evgenii Mihaylovich, PhD student, engineer of the Department of "Ship Power Plants and Thermal Power Engineering"

²Tolmachov Alexander Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Ship Power Plants and Heat Power Engineering"

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹evgenij.orekhovskij@klgtu.ru; ²avtol03071952@mail.ru

This article presents a test strength calculation of the conical pinless coupling of the coupling half with the propeller shaft of the supply vessel "NARVAL", in which, during acceptance by a representative of the Register, it was found that the dimensions of the conical landing surfaces in the drawing of the coupling half do not correspond to the actual ones. This article also explains the possible reason for this discrepancy.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СООТВЕТСТВИИ С ПРАВИЛАМИ РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА

¹Филонов Александр Георгиевич, канд. техн. наук, заведующий кафедрой судовых энергетических установок и теплоэнергетики

²Толмачев Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹sudfac@yandex.ru; ²avtol@fair.ru

Представлены результаты прочностных расчетов коленчатого вала судового двигателя МАК модели 6М20 и испарительных труб судового парового котла UNEX NA-2200/10, выполненных в соответствии с правилами Российского морского регистра судоходства. Рассмотрены способы обеспечения эксплуатационной прочности главного двигателя и вспомогательного котла после проведения ремонта.

Во время проведения ремонта судов промыслового и транспортного флота на судоремонтных предприятиях России судовладелец часто сталкивается с необходимостью выполнения прочностных расчетов элементов судовых энергетических установок (СЭУ) в соответствии с требованиями представителей Российского морского регистра судоходства (РМРС). Однако методика прочностных расчетов элементов СЭУ, приведённая в Правилах РМРС, может изменяться и в этой связи представляет интерес рассмотреть её особенности, изложенные в последней редакции Правил. В данной статье приведены результаты поверочных прочностных расчетов шатунной шейки коленчатого вала главного двигателя (ГД) НИС «Атлантида», и испарительных труб вспомогательного котла НИС «Академик Николай Страхов», выполненных по просьбе судовладельцев.

Обеспечение эксплуатационной прочности коленчатого вала главного двигателя НИС «Атлантида»

В процессе эксплуатации главного двигателя МАК модели 6М20 (6ЧН20/30), установленного на НИС «Атлантида», во время осмотра и обмера мотылевой шейки коленчатого вала обнаружился цвет побежалости и недопустимый износ. Проточка шатунной шейки 4-го цилиндра до устранения неравномерного закаливания и овальности привела к снижению диаметра шейки ниже предельного ремонтного размера, который составил – 147,7 мм, радиус галтели – 10,0 мм. Эскиз коленчатого вала и фотография дефектной мотылёвой шейки представлены на рисунках 1-2.

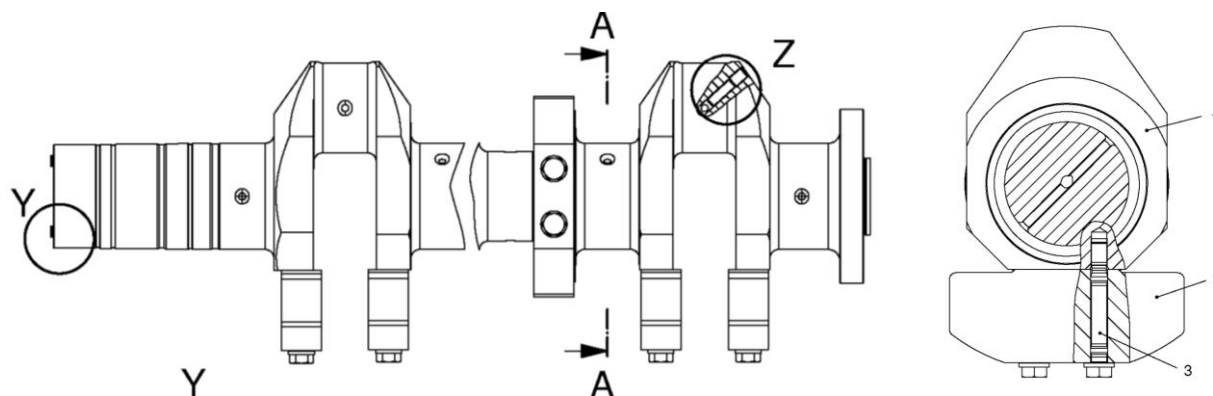


Рис. 1. Эскиз коленчатого вала двигателя МАК модели 6М20 (6ЧН20/30)

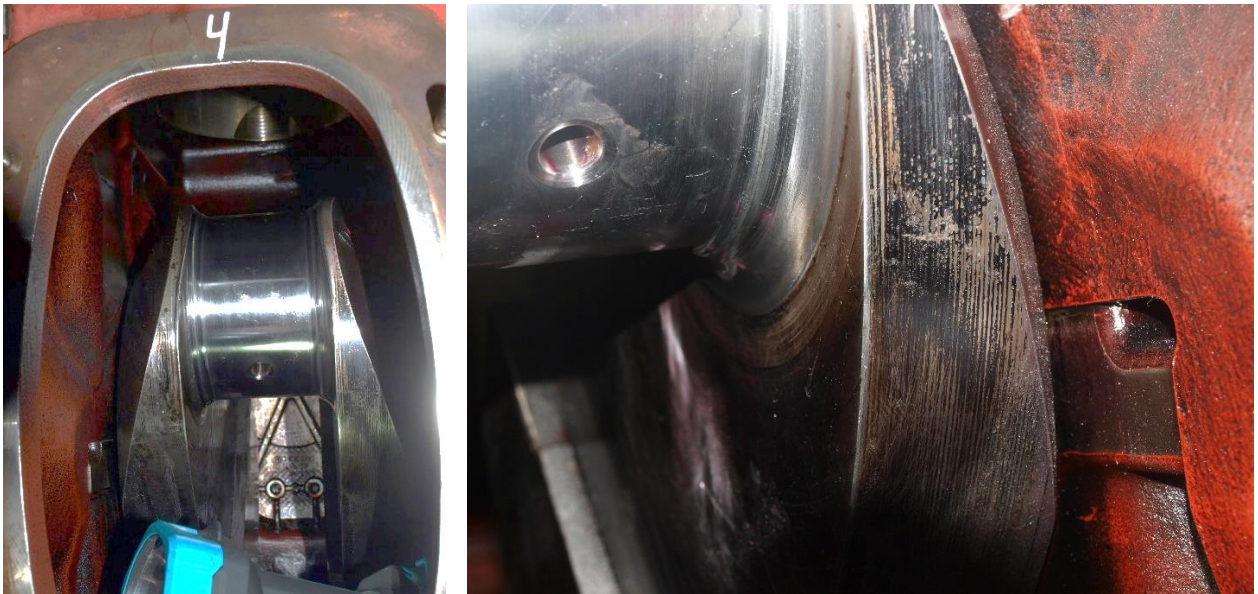


Рис. 2. Мотылёвая шейка коленчатого вала двигателя МАК модели 6М20 (6ЧН20/30) после проточки и чистовой обработки

В связи с этим, представителем Регистра был поставлен вопрос о возможной дальнейшей эксплуатации двигателя. Для ответа на данный вопрос потребовался поверочный расчет прочности коленчатого вала в соответствии с новыми Правилами РМРС [1].

Для получения нагрузок на коленчатый вал ГД были выполнены расчеты рабочего процесса двигателя и динамики двигателя. Развернутая индикаторная диаграмма давлений и сил инерции, диаграммы радиальных сил и показаны на рисунках 3-5.

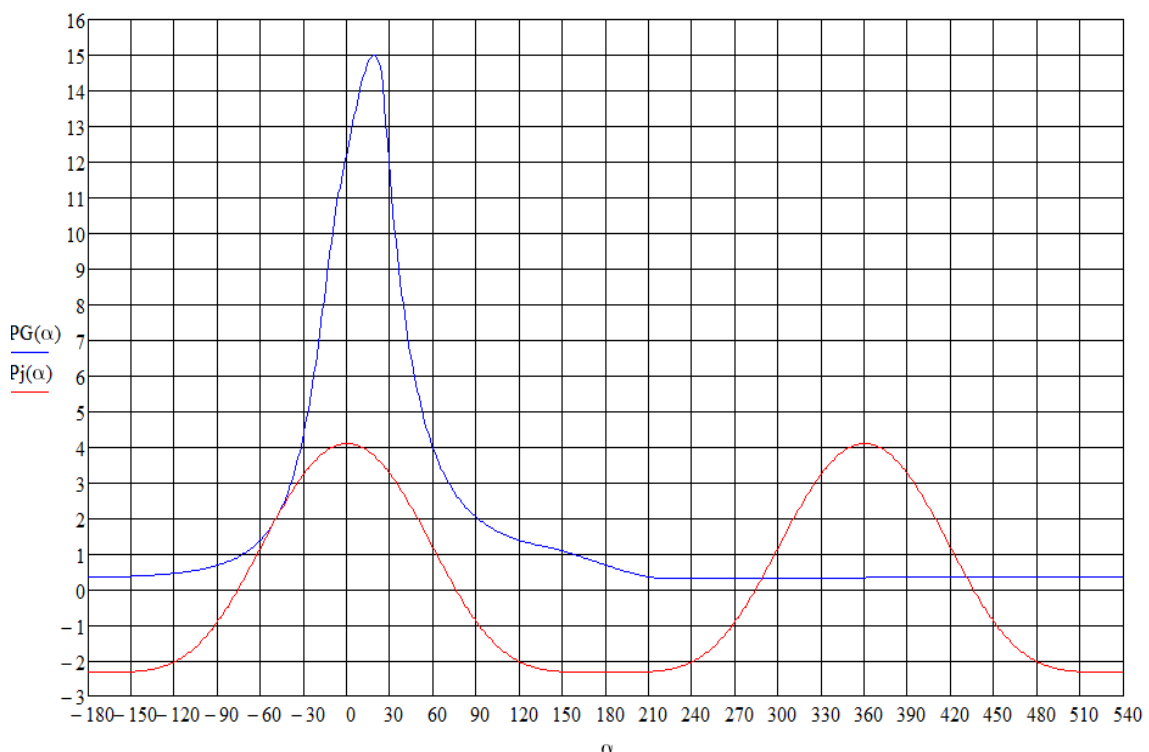


Рис. 3 Развернутая индикаторная диаграмма давлений и сил инерции двигателя МАК модели 6М20 (6ЧН20/30)

Полученные расчетные силы и крутящие моменты силы позволили установить значение коэффициента запаса прочности шейки в характерных сечениях:

- 1 – галтель шатунной шейки;
- 2 – галтель рамовой шейки;

3 – масляное отверстие на шатунной шейке.

Расчеты рабочего цикла, динамики и прочности коленчатого вала были выполнены для режимов нагружения ГД: 100% (варианты 0-1 с новой и проточенной шейкой), 90% и 80% (с проточенной шейкой) в среде MathCAD-15.

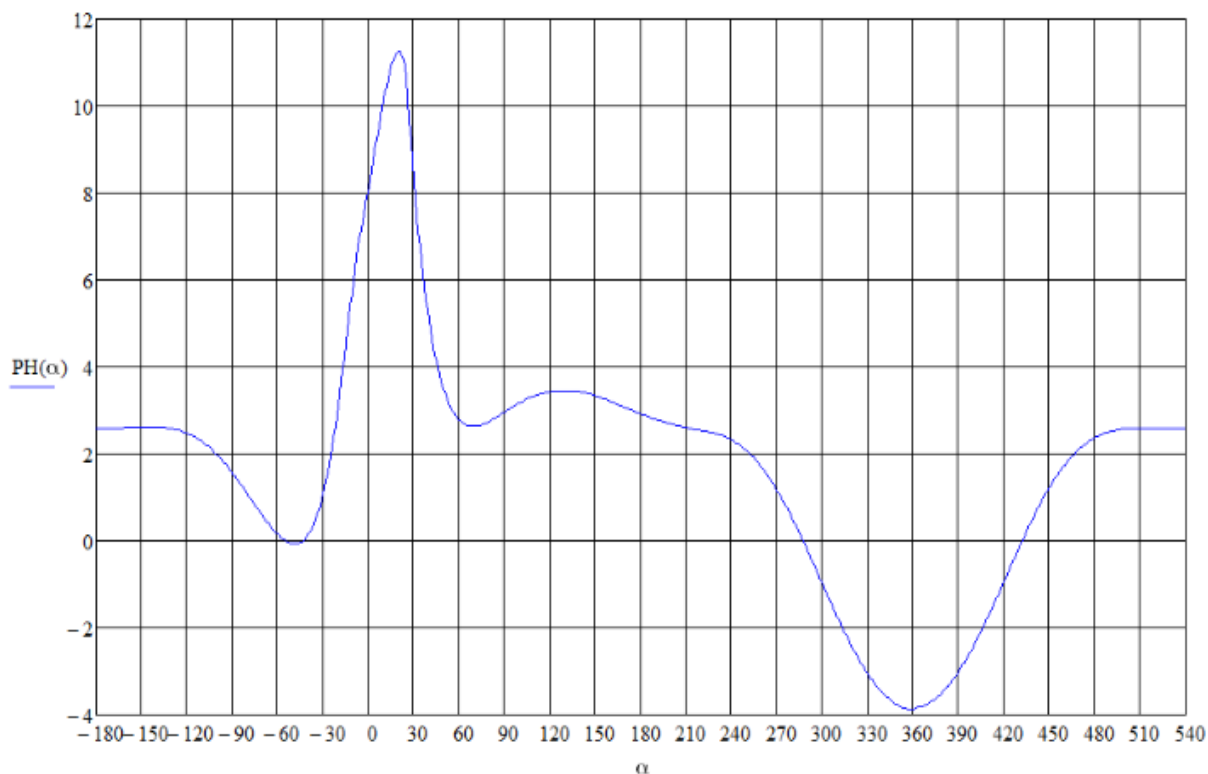


Рис. 4 Диаграмма радиальных сил двигателя МАК модели 6М20 (6ЧН20/30)

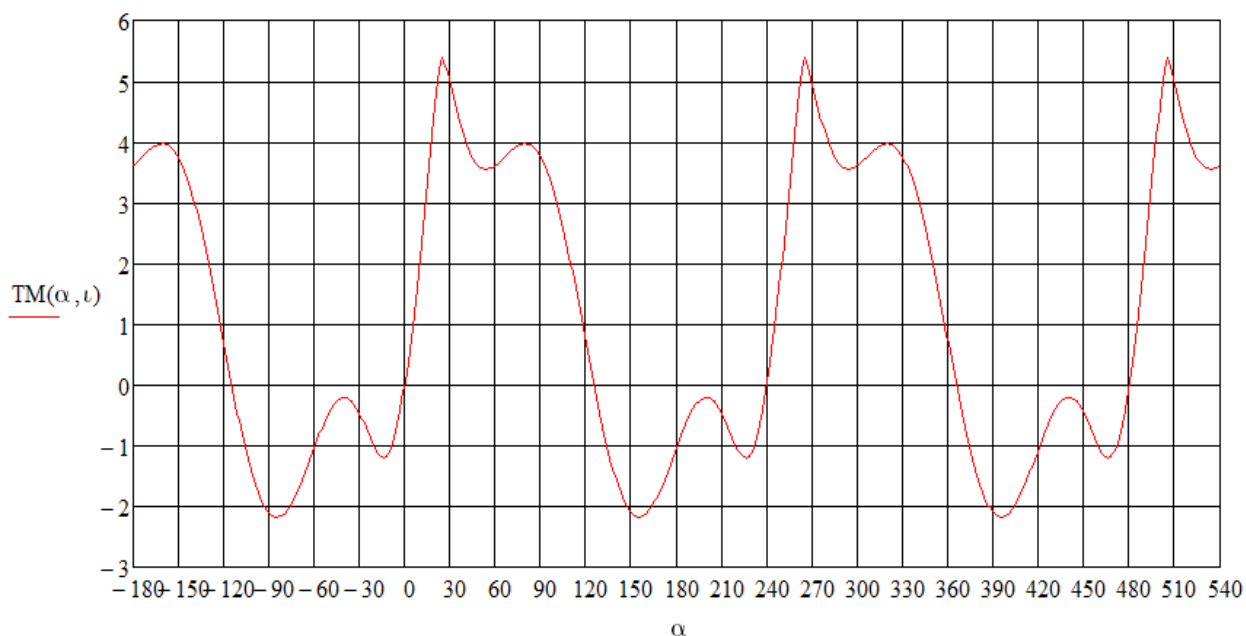


Рис. 5 Диаграмма суммарных касательных усилий двигателя МАК модели 6М20 (6ЧН20/30)

Материал коленчатого вала был выбран на основании элементного состава стали, измеренного рентген-флуоресцентным анализатором металлов «Olympus Delta Premium». Наиболее близкой по составу оказалась отечественная сталь марки 40Х, прочность которой была принята для расчета.

Результаты расчетов показателей нагружения двигателя МАК 6М20 (6ЧН20/30) и его коленчатого вала после проточки шатунной шейки 4-го цилиндра (считая от маховика) приведены в таблице 1. Сравнение результатов расчетов, приведенных в таблице 1, (столбцы 4 и 5) показывает, что

проточка четвертой шатунной шейки привела к снижению коэффициентов запасов прочности в характерных участках шейки. Наиболее уязвимым является запас прочности по смазочному отверстию.

Таблица 1

Результаты расчетов показателей нагружения двигателя МАК 6М20 (6ЧН20/30) и его коленчатого вала после проточки шатунной шейки 4-го цилиндра

Показатель	Обозначение	Размерность	Вариант 0	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1	2	3	4	5	6	7
Нагрузка	-	%	100%	100%	90%	80%
Мощность	N_e	кВт	1020	1020	918	816
Давление наддува (абс)	P_K	МПа	0,348	0,348	0,32	0,292
Давление сгорания	P_Z	МПа	15,0	15,0	13,8	12,6
Максимальное давление шатуна *)	Z_{Hmax}	МПа	11,26	11,26	10,16	8,775
Минимальное давление шатуна *)	Z_{Hmin}	МПа	-3,883	-3,883	-3,906	-3,927
Набегающее касательное усилие на шейке 4-го цилиндра max *)	T_{Hmax}	МПа	5,374	5,374	4,778	4,017
Набегающее касательное усилие на шейке 4-го цилиндра min *)	T_{Hmin}	МПа	-2,175	-2,175	-2,161	-2,153
Диаметр шатунной шейки	D_H	мм	152,0 новая шейка	147,7 после проточки	147,7 после проточки	147,7 после проточки
Галтель шатунной шейки	R_H	мм	15,0 новая шейка	10,0 после про- точки	10,0 после про- точки	10,0 после про- точки
Запас прочности по галтели шатунной шейки	Q_H	-	2,021	1,588	1,709	1,891
Запас прочности по галтели рамовой шейки	Q_G	-	2,685	2,540	2,723	2,996
Запас прочности по смазочному отверстию	Q_o	-	1,294	1,1911	1,287	1,432

*) значение отнесено к площади поршня.

Сравнение результатов расчетов, приведенных в таблице 1, (столбцы 4 и 5) показывает, что проточка четвертой шатунной шейки привела к снижению коэффициентов запасов прочности в характерных участках шейки. Наиболее уязвимым является запас прочности по смазочному отверстию. Для восстановления запаса прочности в критическом сечении необходимо ввести ограничение эксплуатационной мощности главного двигателя. В этой связи, были выполнены расчеты нагрузок на шейку для мощности ГД сниженной на 10 % и 20 % (столбцы 6 и 7).

На рисунке 6 представлена зависимость расчетного коэффициента запаса прочности шатунной шейки 4-го цилиндра по смазочному отверстию после проточки Q_o от относительной нагрузки главного двигателя N_i . Учитывая, что значение коэффициента запаса прочности смазочного отверстия для новой шейки коленчатого вала составляет: $Q_0 = 1,2941$ (столбец 4, таблица 1), значение допускаемой нагрузки двигателя можно найти линейной интерполяцией из выражения:

$$N_0 = N_3 + \frac{N_2 - N_3}{Q_2 - Q_3} \cdot (Q_0 - Q_3) = 0,8 + \frac{0,9 - 0,8}{1,287 - 1,432} \cdot (1,294 - 1,432) = 0,895 \quad (1)$$

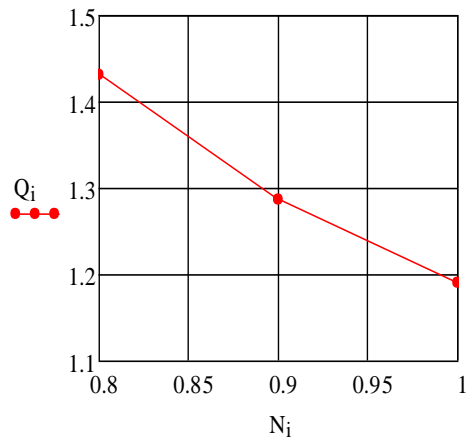


Рис. 6 Зависимость коэффициента запаса прочности смазочного отверстия мотылёвой шейки от относительной нагрузки двигателя МАК модели 6М20 (6ЧН20/30) НИС «Атлантида»

Таким образом, вероятная допустимая нагрузка главного двигателя правого борта НИС «Атлантида», обеспечивающая сохранение коэффициента запаса прочности, рассчитанного для проточенной шатунной шейки, составляет не более 89,5%, или 910 кВт. Установленный в ЦПУ НИС «Атлантида», штатный измеритель нагружения главного двигателя позволяет производить контроль нагрузки двигателя с точностью $\pm 2\%$. Поэтому для надежного контроля нагружения двигателя по измерительному прибору, необходим дополнительный запас 2 %, а безопасная нагрузка в эксплуатации должна составлять не более 87% (887 кВт), выше которой нагружать главный двигатель нельзя.

Обеспечение эксплуатационной прочности испарительных труб парового котлоагрегата UNEX NA-2200/10 НИС «Академик Николай Страхов»

В процессе ремонта вертикального, цилиндрического, вспомогательного парового котлоагрегата UNEX NA-2200/10 НИС «Академик Николай Страхов», во время его дефектации были обнаружены повреждения испарительных труб топки и конвективного пучка котла в районе нижней трубной доски водяного коллектора.

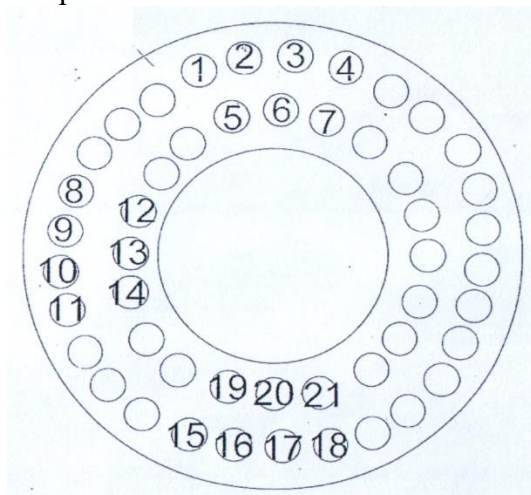


Рис. 7 Схема замеров толщин испарительных труб парового котла UNEX NA-2200/10

Четыре трубы имели течь в местах наплавки, а остальные трубы в количестве 21 шт. доступные для осмотра имели следы язвенной коррозии и утонение стенки. Результаты замеров остаточных толщин стенки доступных для осмотра труб ультразвуковым толщиномером Olympus 38DL+ показали, что на восьми трубах утонение стенки превышает 10 % от построечной толщины, что является недопустимым (см. рисунок 7 и таблицу 2).

После глушения повреждённых труб и проведения успешных гидравлических испытаний водяного объема котла пробным давлением $P = 1,5 \cdot P_w = 1,5 \cdot 0,35 = 0,525$ МПа по договоренности с

судовладельцем было принято решение снизить рабочее давление пара в котле до $P_w = 0,35$ МПа с целью его дальнейшей безопасной эксплуатации. В этой связи был выполнен поверочный прочностной расчет испарительных труб котла UNEX NA-2200/10 в соответствии с [3].

Таблица 2

**Результаты замеров толщин испарительных труб парового котла
НИС «Академик Николай Страхов»**

Номер точки замера		1	1	2	4	5	6	11	14	17
Остаточная толщина стенки трубы $S_{ост}$, мм		3,5	3,1	3,3	3,4	3,1	3,2	3,2	3,1	3,1
Износ стенки трубы	мм	0,5	0,9	0,7	0,6	0,9	0,8	0,8	0,9	0,9
	%	12,5	22,5	17,5	15,0	22,5	20,0	20,0	22,5	22,5

В качестве исходных данных для расчета принимались:

- наружный диаметр испарительных труб: $D_a = 114$ мм;
- материал испарительных труб: конструкционная, углеродистая сталь Fe 3,58 DIN 17175-1979 (по данным чертежей изготовителя котла - фирмы Раума-Репола);
- длина испарительных труб: $L = 2228$ мм;
- минимальная толщина стенки испарительной трубы (на основании результатов замеров остаточных толщин труб): $S_{изм} = 3,1$ мм;
- рабочее давление пара в котле: $P_w = 0,35$ МПа;
- полная высота котла с учетом тепловой изоляции и обшивки (по данным чертежей изготовителя котла - фирмы Раума-Репола): $H_k = 4120$ мм.

Предохранительный клапан котла должен быть настроен таким образом, чтобы при полном открытии и максимальной паропроизводительности не допускать повышение давления более $1,1 \cdot P_w = 1,1 \cdot 0,35 = 0,385$ МПа, поэтому расчетное давление окончательно принималось $P = 0,385$ МПа.

В соответствии с п. 2.1.4.1 РМРС при определении допускаемого напряжения для углеродистой стали в качестве расчетных характеристик должны приниматься: нижний предел текучести $R_{eL/t}$, или условный предел текучести $R_{p0,2/t}$ и предел длительной прочности за 100000 часов - $R_{m/t100000}$ при расчетной температуре [2]. В соответствии со стандартом DIN 17175-1979 для конструкционной стали, используемой для изготовления котельных труб, St 3,58 (номер материала 1,0305) при толщине стенки трубы менее 16 мм и расчетной температуре $t = 200,8$ °С имеем условный предел текучести при 0,2% пластической деформации $R_{p0,2/t} = 185$ МПа [3]. Значения $R_{eL/t}$ для стали St 3,58 в стандарте DIN 17175 не приводятся.

Учитывая, что предел длительной прочности за 100000 часов - $R_{m/t100000}$ используется только при расчетных температурах выше 370 °С, допускаемое напряжение определялось формуле 2.1.4.6. РМРС: $\sigma = R_{p0,2/t}/n_t = \frac{185}{1,6} = 115,6$ МПа, где $n_t = 1,6$ - коэффициент запаса прочности.

Минимальная толщина стенки испарительных труб котла по формуле 2.2.1.2-1 РМРС окончательно [2]:

$$S = \frac{D_a \cdot P}{2 \cdot \sigma \cdot \varphi + P} + C = \frac{114,3 \cdot 0,385}{2 \cdot 115,6 \cdot 1,0 + 0,385} + 1 = 1,19 \text{ мм}, \quad (2)$$

где: $\varphi = 1,0$ - коэффициент прочности, принимаемый в соответствии с п. 2.1.6.5 РМРС; $C = 1$ мм – прибавка к толщине стенки трубы, принимаемая в соответствии с п. 2.1.7.1 РМРС.

Расчетное давление пара, полученное из формулы 2.2.1.2-1 РМРС при минимальной измеренной толщине стенки трубы $S_{изм} = 3,1$ мм будет составлять 4,33 МПа. Рабочее давление пара в котле $P_w = P / 1,1 = 4,33 / 1,1 = 3,93$ МПа. Даже при толщине стенки трубы $S_{изм} = 1,5$ мм будем иметь $P_w = 0,92$ МПа.

Полученная по формулам РМРС, минимально допустимая толщина стенки испарительной трубы при рабочем давлении пара в котле $P_w = 0,35$ МПа оказывается значительно меньше минимальной толщины стенки трубы, измеренной при обследовании котла $1,19 \text{ мм} < 3,1 \text{ мм}$. Рабочее давление пара в котле, полученное расчетным путём по формулам РМРС при $S_{изм} = 3,1$ мм оказывается значительно выше рабочего давления пара $P_w = 0,35$ МПа, рекомендуемого судовладельцу для безопасной эксплуатации котлоагрегата UNEX NA-2200/10.

Полученные результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что прочность существующих испарительных труб котла может обеспечить безопасную эксплуатацию котлоагрегата UNEX NA-2200/10 НИС «Академик Николай Страхов» при рабочем давлении пара $P_w = 0,35$ МПа, удовлетворяющем судовладельца.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства. Часть IX «Механизмы», 2020 г., Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?ln=ru>
2. Правила классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства. Часть X «Котлы, теплообменные аппараты и сосуды под давлением», 2021 г., Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules?ln=ru>
3. DIN 17175-1979 Seamless Tubes of Heat-Resistant Steel, Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://fddocuments.in/document/din-17175-1979.html>

ABOUT STRENGTH CALCULATIONS FEATURES OF ELEMENTS SHIPPING POWER PLANTS IN ACCORDANCE WITH RUSSIAN MARITIME REGISTER OF SHIPPING RULES

¹Filonov Alexandr Georgievich, PhD, associate professor, head of the ship power plants and heat power engineering department

²Tolmachev Alexander Viktorovich, PhD, associate professor, of the ship power plants and heat power engineering department

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹sudfac@yandex.ru; ²avtol@fair.ru

The article presents strength calculations results of MAK marine engine model 6M20 crankshaft and evaporator tubes of the UNEX NA-2200/10 marine steam boiler. Calculations are made in accordance with Russian Maritime Register of Shipping Rules. Methods of ensuring operational strength of main engine and auxiliary boiler after repair are considered.

УДК 621.515.1

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ ПГУ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ВЫСОКОНАПОРНЫМ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ

¹Юрков Сергей Валерьевич, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

²Несмачных Никита Андреевич, инженер ПТО

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹sergej.yurkov@klgtu.ru

²ООО «БЭМ», Калининград, Россия, e-mail: ²nna@balt-energo.ru

Рассматривается возможность конструктивного сопряжения и совместной работы высоконапорного парогенератора (ВПГ) с турбокомпрессором (ТКР) малой мощности, спроектированным на параметры серийных малогабаритных газотурбинных установок (МГТУ) в составе паро-

газовой теплоэнергетической установки. Предложена структурная схема, описан принцип работы и разработана конструкция теплоэнергетической установки (ТЭУ) рассматриваемого типа. Рассчитана принципиальная тепловая схема ТЭУ. Выбрано основное и вспомогательное оборудование. Разработаны конструктивные схемы высоконапорного парогенератора и котла утилизатора. Разработана агрегатная компоновка ТЭУ и рекомендации по ее применению для ТЭС малой мощности. Разработаны 3D модели основного оборудования ТЭУ, а также схемы их агрегатной компоновки. Предложены мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности. Дана оценка экологичности ТЭУ. Приведено технико-экономическое обоснование проекта.

Актуальность проведенного исследования обусловлена вопросом о практической возможности децентрализации энергетического сектора, что подразумевает создание маневренной теплоэлектростанции малой мощности. Наиболее совершенной в плане топливной экономичности является парогазовая установка утилизационного типа. Однако такой тип ПГУ обладает существенным недостатком – низкой маневренностью, в связи с значительными массогабаритными характеристиками котлов-утилизаторов.

Целью исследования является разработка ПГУ с достаточной маневренностью. Такая ПГУ характеризуется малой мощностью. В качестве котельного агрегата для такой теплоэнергетической установки был выбран высоконапорный парогенератор, отличительной особенностью которого являются малые габариты и возможность использования в качестве дутьевого вентилятора воздушный компрессор газотурбинной установки (ГТУ). Это означает, что на базе ВПГ может быть организован бинарный парогазовый цикл, в который входят два отдельных тепловых двигателя: ГТУ и ПТУ, для каждого из которых ВПГ является генератором рабочего тела. В данной работе проведена попытка создания ТЭУ малой мощности на базе такого цикла.

Первым этапом исследования является оценка возможности конструктивного сопряжения и совместной работы высоконапорного парогенератора (ВПГ) с турбокомпрессором малой мощности (ТКР). Результаты теоретического исследования подтверждают принципиальную возможность сопряжения ГТУ малой мощности с ВПГ, при условии, что ГТУ должна представлять собой специально спроектированный утилизационный турбокомпрессор.

Следующим этапом является разработка и оптимизация принципиальной тепловой схемы (ПТС), неотъемлемой частью которой является выбор расчетной структурной схемы теплоэнергетической установки (ТЭУ).

Целью оптимизации структурной схемы ТЭУ является выбор элементов установки и предварительное определение значений основных термодинамических параметров рабочих органов в узловых точках схемы [2].

Алгоритм выбора структурной схемы ТЭУ требует проведения:

- балансового расчета ВПГ;
- анализа и выбора ПТУ;
- расчета паропроизводительности ВПГ;
- расчета ПТС ТЭУ;
- анализа эффективности выбранной ПТУ;
- выбора основного и вспомогательного оборудования;

Блок схема данного алгоритма с основными системами уравнений представлена на рис. 1

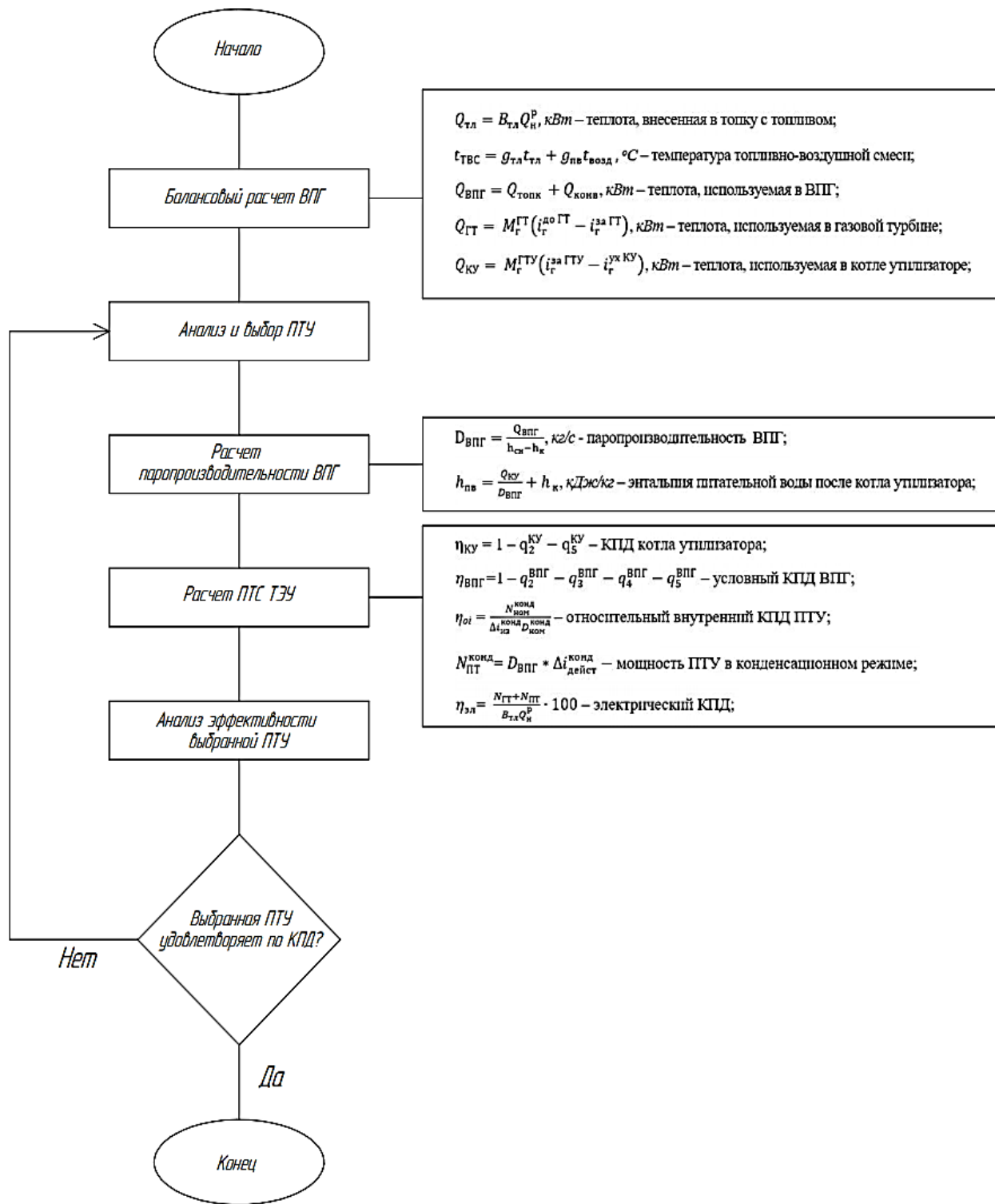


Рис. 1 Блок-схема алгоритма выбора структурной схемы ТЭУ

По результатам оптимизации ПТС, выбирается наиболее эффективная ПТУ, обеспечивающая электрический КПД ПГУ $\eta_{эл} = 59 \%$, при мощности ПТУ в конденсационном режиме $N_{пгу} = 1069,1$ кВт. В том числе, производится выбор оставшегося основного и вспомогательного оборудования, на основании которого, с учетом произведенных расчетов, создается ПТС ТЭУ, представленная на рис. 2.

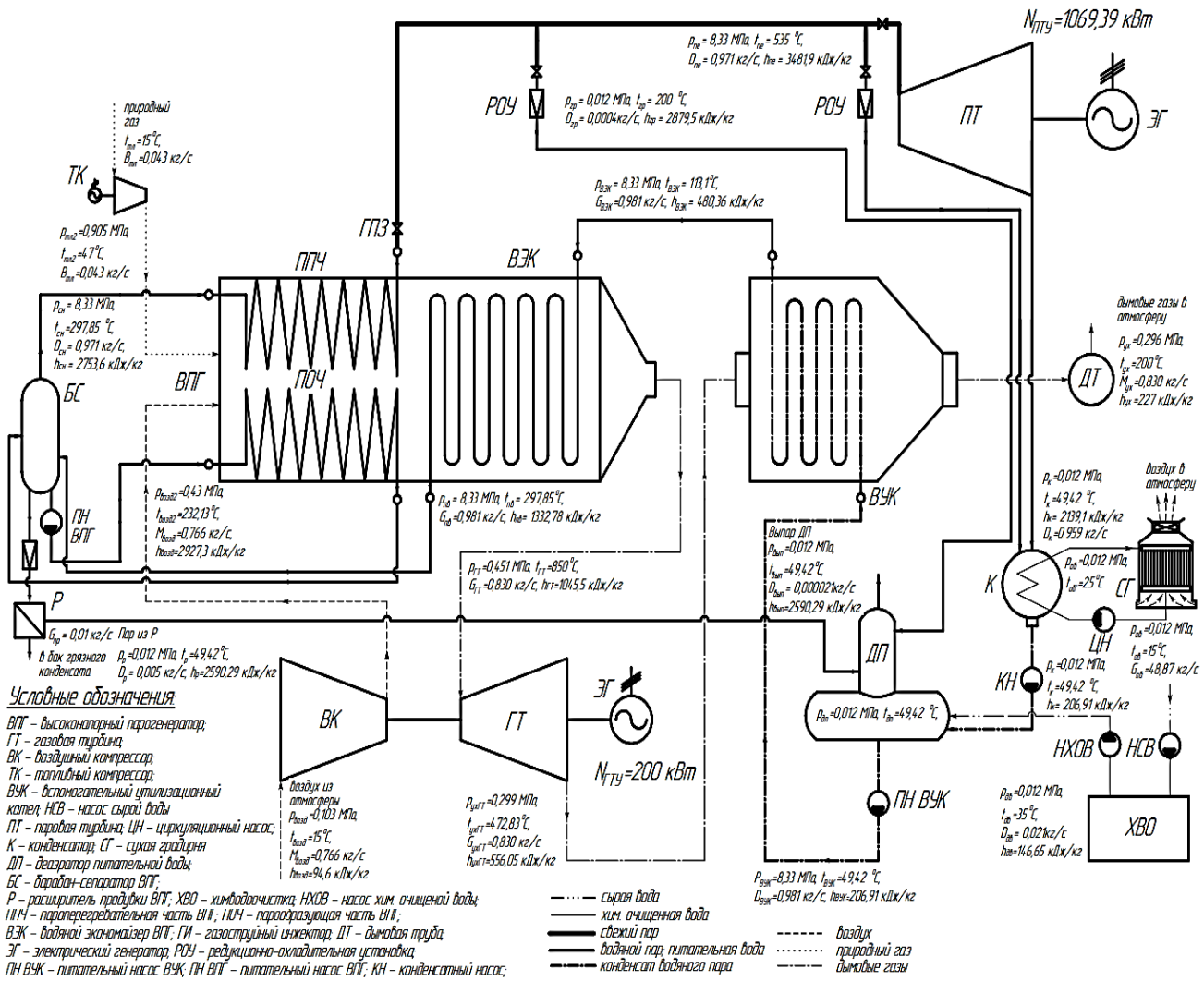


Рис. 2 Принципиальная тепловая схема ТЭУ

Так как в предлагаемой схеме, все газы из ВПГ отбираются на газовую турбину, следующим этапом исследования были тепловой, конструктивный и аэродинамический расчеты ВПГ [3], алгоритм проведения которых представлен на рис. 3

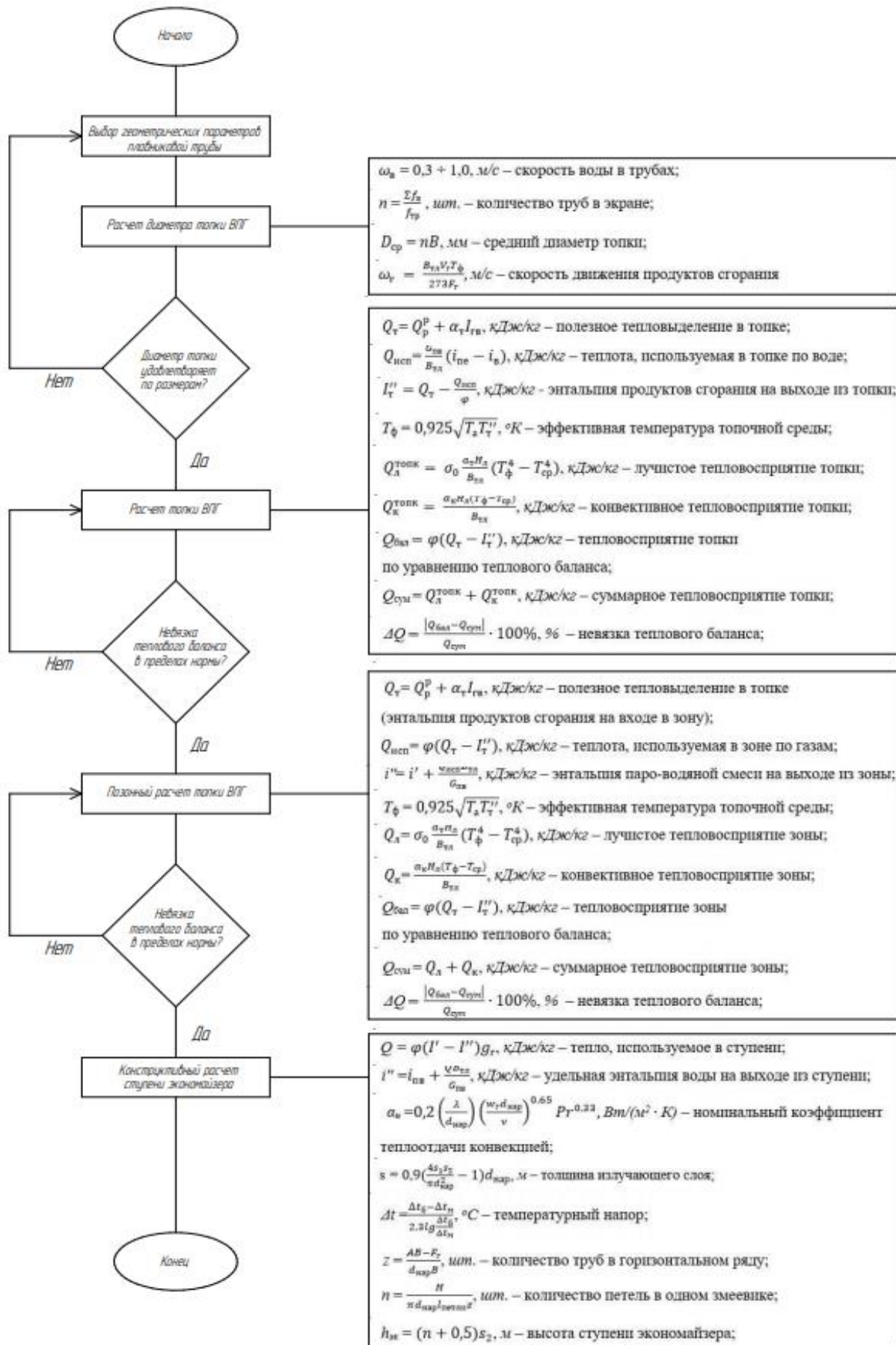
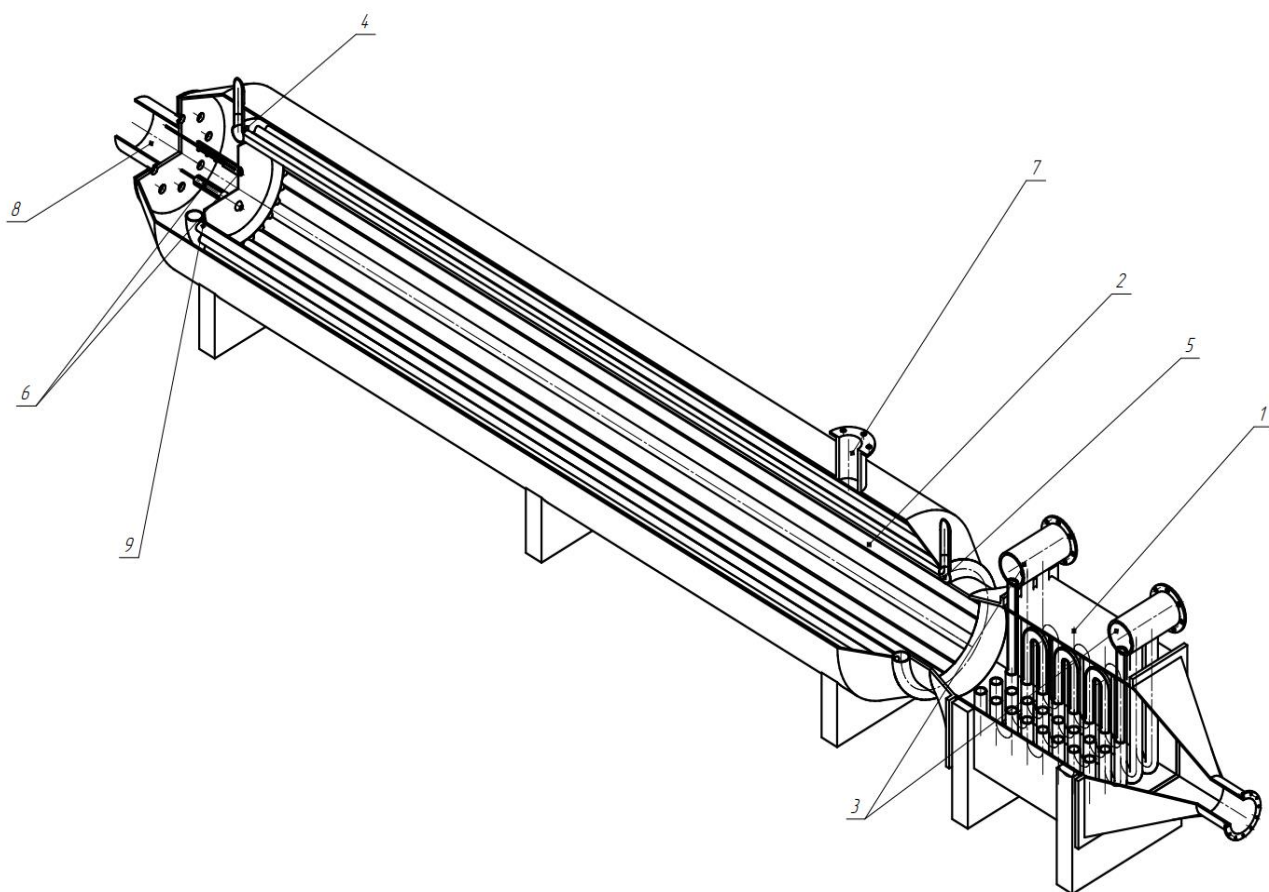


Рис. 3 Алгоритм конструктивного и аэродинамического расчетов ВПГ

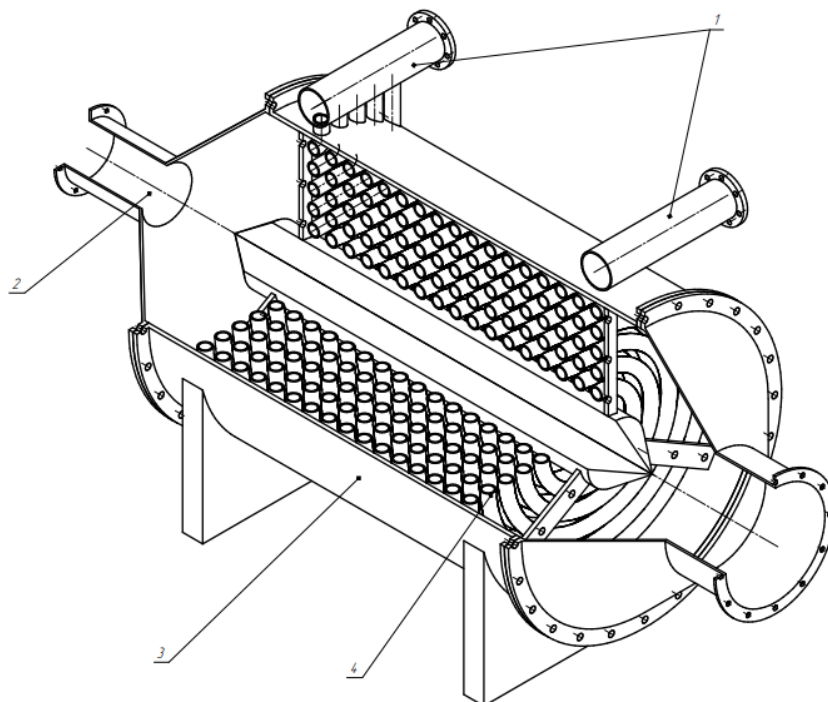
По результатам произведенных расчетов была установлена паро-производительность ВПГ равная приблизительно 3,5 тонны/час (0,971 кг/с), обеспечивающая паровую турбину перегретым

паром с давлением $P=8,33$ МПа, и температурой $t=535$ °С, а также, по окончании проведения позионного расчета топки, была установлена высота парообразующей части ВПГ равная 225 см. Разработанная конструктивная схема ВПГ представлена на рис. 4



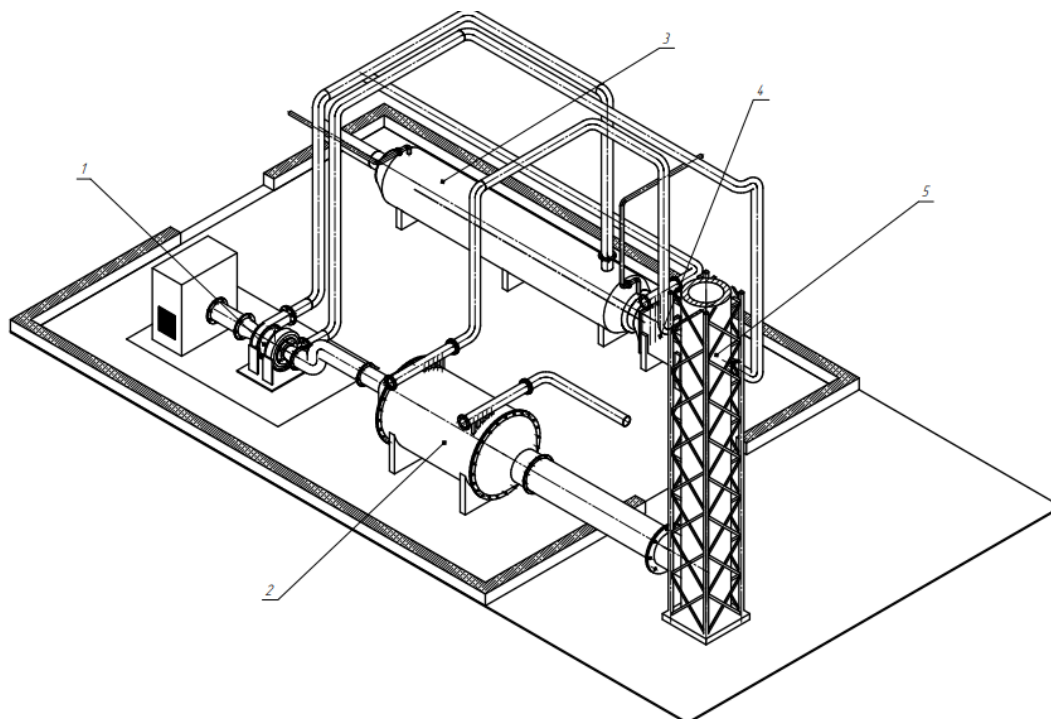
*Рис. 4 Конструктивная схема высоконапорного парогенератора:
1 – экономайзерная часть ВПГ; 2 – парообразующая часть ВПГ; 3 – коллектор питательной воды;
4 – коллектор насыщенного пара; 5 – коллектор перегретого пара; 6 – газовая горелка;
7 – воздушный тракт; 8 – газовый тракт; 9 – труба плавниковая;*

После расширения в газовой турбине турбокомпрессора, уходящие газы направляются в одноконтурный котел утилизатор (КУ), необходимый для использования теплового потенциала продуктов сгорания. В КУ конденсат нагревается до температуры питательной воды ВПГ равной 113,1 °С, после чего, питательная вода поступает в экономайзерную часть ВПГ. Для КУ производился тепловой, конструктивный и аэродинамический расчет [3] с целью определения его основных размеров и теплопроизводительности по условиям совместной работы с ВПГ. Конструктивная схема КУ представлена на рис. 5.



*Рис. 5 Конструктивная схема котла утилизатора:
1 – водяной коллектор; 2 – газоход; 3 – корпус; 4 – спиральный змеевик;*

Разработанные конструкции турбокомпрессора, высоконапорного парогенератора, и котла утилизатора, предполагают их сопряжение: предлагаемый вариант компоновки ТЭУ – горизонтальный: турбокомпрессор, высоконапорный парогенератор и котел утилизатор располагаются на общей фундаментной раме, способ размещения оборудования представлен на рис. 4.



*Рис. 4 Способ размещения оборудования:
1 – турбокомпрессор; 2 – котел утилизатор; 3 – парообразующая часть высоконапорного парогенератора; 4 – экономайзерная часть высоконапорного парогенератора; 5 – дымовая труба*

Таким образом, для размещения основного энергетического оборудования достаточно малогабаритного помещения длиной 4,5 м, шириной 3,5 м и высотой 3 м.

Для проектируемой ТЭУ разработаны мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности, удовлетворяющие требованиям соответствующих нормативных документов, а также изучены экологические аспекты создания ТЭС на базе проектируемой ТЭУ с ВПП.

ВЫВОДЫ

Исходя из проведенного исследования проекта ПГУ малой мощности с ВПП, можно сделать выводы о том, что проект является актуальным, технически реализуемым, а также экономически выгодным, при условии использования специально проектируемого оборудования для достижения максимальной эффективности работы ТЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РТМ 108.020.22–84. Установки парогазовые стационарные. Методика расчета тепловых схем установок и высоконапорных парогенераторов. – введ. 11–06–1984. – НПО ЦКТИ, 1985. – 58 с.
2. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) – 3-е изд., доп. и перераб. – СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. - 256 с
3. Хряпченков А.С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы: Учебное пособие / А.С. Хряпченков – Л.: Судостроение, 1988. – 296 с.
4. Экономика промышленности: учеб. пособие для вузов. – В 3-х т. Т 2. Экономика и управление энергообъектами. Кн. 2. РАО «ЕЭС России». Электростанции. Электрические сети / Кожевников Н.Н., Басова Т.Ф., Чинакаева Н.С. и др.; Под ред. Барановского А.И., Кожевникова Н.Н., Пирадовой Н.В. – М.: Издательство МЭИ, 1998. – 368 с.

SMALL CAPACITY SGU PROJECT WITH A HIGH-PRESSURE STEAM GENERATOR

¹Yurkov Sergey Valerievich, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

²Nesmachnykh Nikita Andreevich, engineer

¹ FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹sergej.yurkov@klgtu.ru

²BEM LLC, Kaliningrad, Russia, e-mail: ²nna@balt-energo.ru

The possibility of constructive coupling and joint operation of a high-pressure steam generator (HPSG) with a low-power turbo-compressor designed on the parameters of serial small-sized gas-turbine units (SGTU) as part of a combined heat and power plant is considered. The structural diagram is proposed, the operating principle is described and the design of the heat and power plant of the considered type is developed. The principle thermal scheme of heat power plant is calculated. Main and auxiliary equipment are selected. Design schemes of the high-pressure steam generator and the utilizing boiler have been developed. Aggregate layout of TPP and recommendations on its application for TPP of small capacity have been developed. 3D models of the main equipment of TPP and schemes of their aggregate layout were developed. Measures to ensure life safety have been proposed. The ecological compatibility of TPP is assessed. The feasibility study of the project is given.

УТИЛИЗАЦИОННЫЙ ТУРБОКОМПРЕССОР ДЛЯ ПГУ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ВЫСОКОНАПОРНЫМ ПАРОГЕНЕРАТОРОМ

¹Юрков Сергей Валерьевич, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

²Несмачных Никита Андреевич, инженер ПТО

¹ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Калининград, Россия, e-mail: ¹sergej.yurkov@klgtu.ru

²ООО «БЭМ», Калининград, Россия, e-mail: ²nna@balt-energo.ru

Рассматривается возможность конструктивного сопряжения и совместной работы высоконапорного парогенератора (ВПГ) с турбокомпрессором (ТКР) малой мощности, спроектированным на параметры серийных малогабаритных газотурбинных установок (МГТУ) в составе парогазовой теплоэнергетической установки. Выполнено исследование технологической возможности использования серийной МГТУ для сопряжения с ВПГ. Проведен анализ компаний, занимающихся производством и выпуском МГТУ, а также методик проектирования и моделирования основных узловых элементов ТКР. Произведены поверочные и конструктивные термодинамические и газодинамические расчеты турбокомпрессорных агрегатов, разработана 3D модель исследуемой теплоэнергетической установки и ее ключевых узлов. Предложена структурная схема, описан принцип работы и разработана конструкция ТЭУ рассматриваемого типа.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования обусловлена реальной перспективой вовлечения возобновляемых видов топлива в региональный энергетический баланс Калининградской области. К возобновляемым топливным ресурсам региона можно отнести древесные отходы, твердые бытовые отходы, фрезерный торф. Использование этих первичных топливных ресурсов предполагает либо их предварительную газификацию, либо прямое сжигание в топочных устройствах теплоэнергетических установок (ТЭУ).

Как следствие, встает вопрос о практической возможности децентрализации энергетического сектора, что подразумевает создание маневренной теплоэлектростанции (ТЭС) малой мощности [1,2]. Анализ результатов выполненных исследований [3] позволяет утверждать, что для создания такой электростанции необходима ТЭУ, способная работать на каждом из вышеперечисленных видах топлива, как например, паротурбинная установка (ПТУ), но с существенно более высоким КПД. Упрощенная структурная схема ТЭС малой мощности на базе газотурбинной установки, ПТУ и ВПГ представлена на рис. 1.

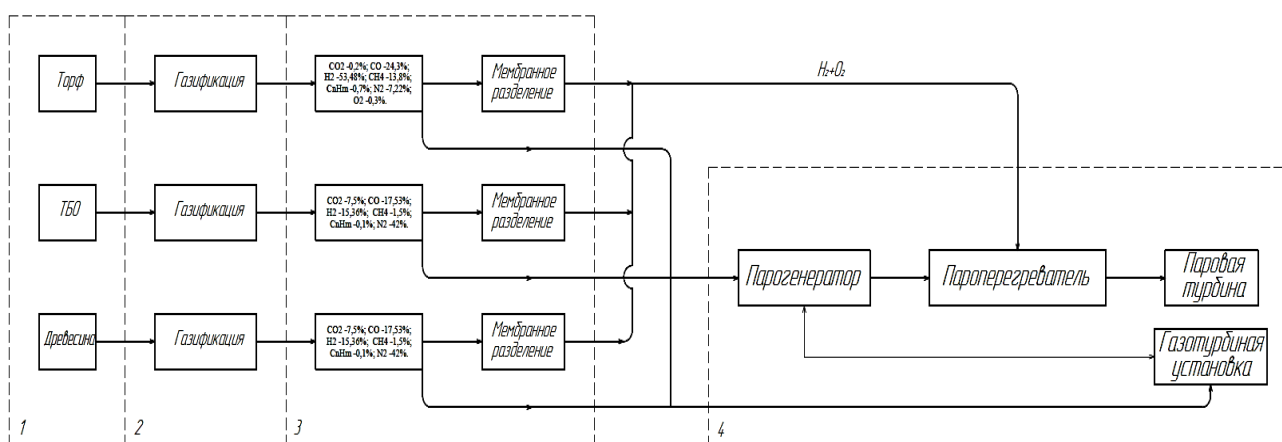


Рис.1 Структурная схема ТЭС малой мощности: 1 – доступный первичный энергетический ресурс; 2 – доступные техно-логии производства энергетического топлива; 3 – энергетическое топливо искусственного происхождения; 4 – теплоэнергетическая установка

ВПП – это котельные агрегаты, в камере сгорания и газоходах которых создается давление от 5 бар и выше. При эксплуатации таких котлов в качестве дутьевого вентилятора можно использовать воздушный компрессор газотурбинной установки (ГТУ). Это означает, что на базе ВПП может быть организован бинарный парогазовый цикл, в который входят два отдельных тепловых двигателя: ГТУ и ПТУ, для каждого из которых ВПП является генератором рабочего тела. В данной работе проведена попытка создания ТЭУ малой мощности на базе такого цикла. Принципиальная схема сопряжения ГТУ с ВПП представлена на рис. 2

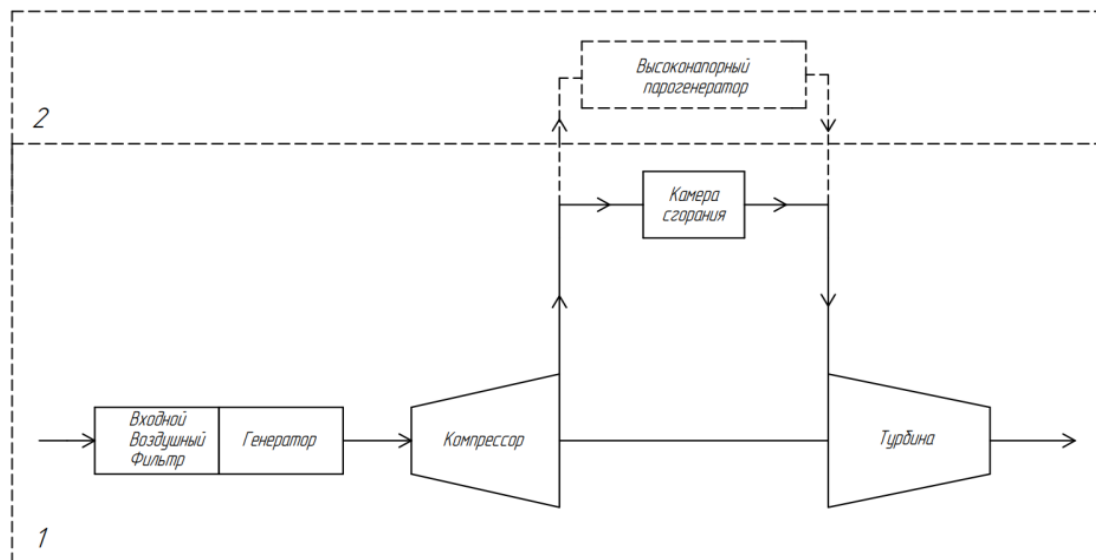


Рис. 2 – Принципиальная схема сопряжения ГТУ с ВПП:
1 – ГТУ со штатной камерой сгорания; 2 – топочная камера ВПП

Характерной особенностью создания ПГУ с ВПП является использование ГТУ с выносными камерами сгорания, которые конструктивно отсоединяются от газовой турбины, что позволяет подключить ВПП к ГТУ с помощью специального газо-воздушного тракта. Вместе с тем современные концепции архитектуры энергетических ГТУ ориентированы на использование встроенных камер сгорания, исключая конструктивные возможности сопряжения ГТУ с ВПП и создания ПГУ на базе высоконапорных парогенераторов с применением малогабаритных газотурбинных установок (МГТУ) из-за особенностей их компоновки. Основной практической задачей настоящего исследования является попытка создания прототипа турбокомпрессорного агрегата МГТУ, не включающего в свою конструкцию камеры сгорания и ориентированного на работу в составе ПГУ с ВПП малой мощности.

СОДЕРЖАНИЕ РАССЧЕТНОГО ЭТАПА ИССЛЕДОВАНИЯ

Базовым этапом исследования является анализ конструктивных, рабочих и эксплуатационных характеристик серийно выпускаемых МГТУ ведущих мировых и отечественных производителей. Для анализа были выбраны следующие компании: Capstone, Turbec, Calnelix, Toyota, Nissan [4,5,8].

В результате проведенного сравнительного анализа в качестве эталонного прототипа для проектирования ТКР выбрана МГТУ Capstone серии С200. В значительной степени выбор сделан в силу всеобщего признания данной компании, а также ее обширного опыта в разработке и производстве микротурбинных агрегатов. Мощность турбины $N_{ГТУ}=200$ кВт, электрический КПД в цикле с регенерацией: $\eta_{э_ГТУ}=33\pm 2\%$. Структурная схема данной ГТУ показан на рис. 3.

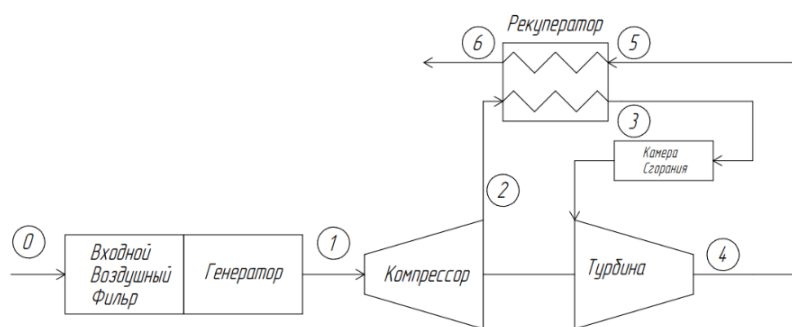


Рис. 3 Структурная схема ГТУ «Capstone C200»:

0 – вход в воздушный фильтр; 1 – вход в компрессор; 2 – выход из компрессора; 3 – выход из рекуператора по холодному теплоносителю; 4 – выход из турбины; 5 – вход в рекуператор по горячему теплоносителю; 6 – выход из рекуператора по горячему теплоносителю

При надстройке ГТУ высоконапорным парогенератором топливо и воздух, сжатый в компрессоре, подается непосредственно в топку парогенератора, а продукты горения из топки, при достижении, в процессе теплообмена с водой, расчетной температуры, отбираются по газовому тракту и направляются в газовую турбину. Серийная МГТУ требует в этом случае глубокого переоборудования, неизбежно влияющего на эксплуатационно-технические параметры теплового двигателя. Микротурбины Capstone компонуются в виде контейнера, в котором размещено все оборудование в такой форме, чтобы вместить в себя все элементы максимально эргономично, это приводит к тому, что любое вмешательство в конструкцию, чревато снижением КПД, а также отклонением эксплуатационных характеристик от заявленных производителем. Следовательно, возникает задача проектирования такого нового устройства, которое обладало бы не меньшей энергетической эффективностью, по сравнению с прототипом и позволило бы технологически просто и совершенно выполнять сопряжение ВПП и газотурбинного агрегата. Решение этих задач требует проведения широкого спектра термодинамических, газодинамических и конструктивных расчетов, в том числе калибровочных, с целью установления верификационного соответствия расчетных параметров – эксплуатационным (данным испытаний).

Калибровочные термодинамические расчеты рабочего процесса серийной ГТУ «Capstone C200» выполнены в программной среде «Mathcad» с использованием методики расчета цикла ГТУ с регенерацией, программно реализованной на расчетном сервере МЭИ [9]. По результатам расчета получены значения основных эксплуатационно-технических характеристик МГТУ «Capstone C200» удовлетворительно согласующиеся с паспортными данными и данным испытаний. Результаты тестового расчета параметров (1)-(5) по модифицированной про-грамме для цикла без регенерации (случай конструктивной модернизации серийной ГТУ) представлены на расчетной схеме цикла ГТУ рис.4 – а, а термодинамический цикл рабочего процесса, протекающего в исследуемой установке - на рис. 4 – б.

$$N_K = \frac{I_{к.д}}{\eta_m} \cdot G_{вх}, \quad (6)$$

$$N_{ТК} = \frac{I_{тк.д}}{\eta_m} \cdot B_T, \quad (7)$$

$$N_{ГТ} = I_{гт.д} \cdot G_T \cdot \eta_m, \quad (8)$$

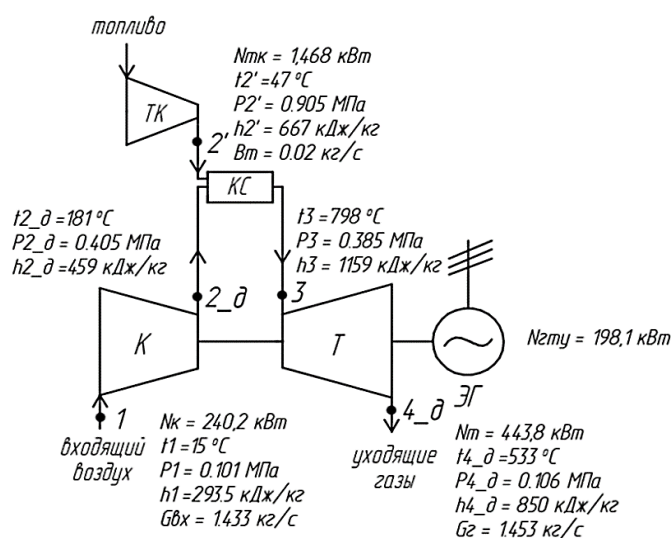
$$N_{ГТУ} = (N_{ГТ} - N_K) \cdot \eta_r - N_{ТК}, \quad (9)$$

$$\eta_{э_ГТУ} = \frac{N_{ГТУ}}{Q_1}, \quad (10)$$

где N_K – мощность компрессора, МВт; $I_{к.д}$ – теплоперепад в компрессоре при реальном сжатии, кДж/кг; η_m – механический КПД, %; $G_{вх}$ – массовый расход входящего воздуха, кг/с; $N_{ТК}$ – мощность топливного компрессора, кВт; $I_{тк.д}$ – теплоперепад в топливном компрессоре при реальном

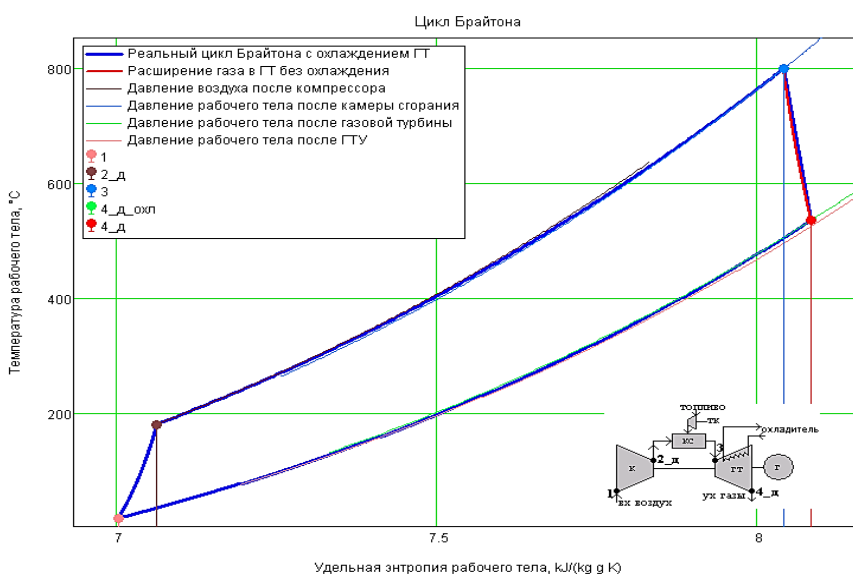
сжатию, кДж/кг; V_T – расход топлива, кг/с; $N_{ГТ}$ – мощность газовой турбины, кВт; $I_{ГТ,д}$ – теплорепад в турбине при реальном расширении, кДж/кг; G_T – расход газа через турбину, кг/с; $N_{ГТУ}$ – мощность электрогенератора ГТУ, кВт; η_T – КПД электрогенератора, %; $\eta_{э,ГТУ}$ – электрический КПД ГТУ, %; Q_1 – теплота, подведенная в ГТУ, МВт.

На основании полученных данных, можно сделать вывод о том, что при замене стандартной схемы МГТУ Capstone C200, на схему без регенерации (означающее отсутствие рекуператора в составе МГТУ), по сравнению с паспортными характеристиками ГТУ, результаты получаются неудовлетворительными, а именно: – КПД установки уменьшился на 13,5% – Электрическая мощность снизилась до 198,1 кВт. Так как термодинамическая эффективность установки уменьшилась, можно сделать вывод о том, что МГТУ Capstone C200, как и другие серийные МГТУ, не целесообразно переоборудовать для работы в составе с ПГУ ВПГ. Следовательно, появляется необходимость в создании специальной установки, аналогичной серийным МГТУ, отличием которой будет отсутствие регенератора и камеры сгорания. Конструктивно – это турбокомпрессор (ТКР) малой мощности, сопоставимый по термодинамическим характеристикам с эталонным прототипом - МГТУ «Capstone C200», при схожих условиях работы.



а) Расчетная схема 1 1 у для схемы без регенерации:

К – компрессор; КС – камера сгорания; Т – газовая турбина; ТК – топливный компрессор; ЭГ – электрогенератор



б) Цикл ГТУ для схемы без регенерации

Рис. 4 Результаты термодинамического расчета:

Для определения геометрических размеров рабочих элементов и проточной части компрессора и турбины, а также параметров, обеспечивающих заданную производительность, требуется выполнения детального термо- и газодинамического расчета. Методология проектных расчетов ТКР разработана достаточно детально и разнообразна, поэтому основной задачей этого этапа работы являлось обоснование выбора оптимальной методики для ее последующей алгоритмизации и программной реализации. Выполнен анализ методик расчета тепловых схем силовых и приводных газотурбинных установок по материалам теоретических исследований и научным публикациям О.В. Комарова, В.Л. Блинова, А.С. Шемякинского [6], учебно-методической публикации с методикой расчета параметров турбины и компрессора, подшипникового узла турбокомпрессора и компрессора, разработанная кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Белорусского Национального Технического Университета [7], диссертационного исследования в части методологии обоснования выбора оптимальной тепловой схемы малогабаритной газотурбинной установки с малорасходными турбомашинами В.В. Барского [8].

В качестве базового алгоритма для написания программы газодинамического расчета в математической среде «Mathcad 15» выбрана методика [7] расчета турбокомпрессоров для системы наддува транспортных ДВС, адаптированная к разрабатываемой задаче данного исследования.

Для определения размеров турбины и компрессора согласно расчетной схеме рис.6, а также частоты вращения ротора, было выполнено расчётное исследование по разработанной программе. На основании заданных параметров тепловой схемы были определены характеристические скоростного коэффициента u/C_0 в зависимости от частоты вращения ротора n и среднего диаметра турбины $d_{ср}$.

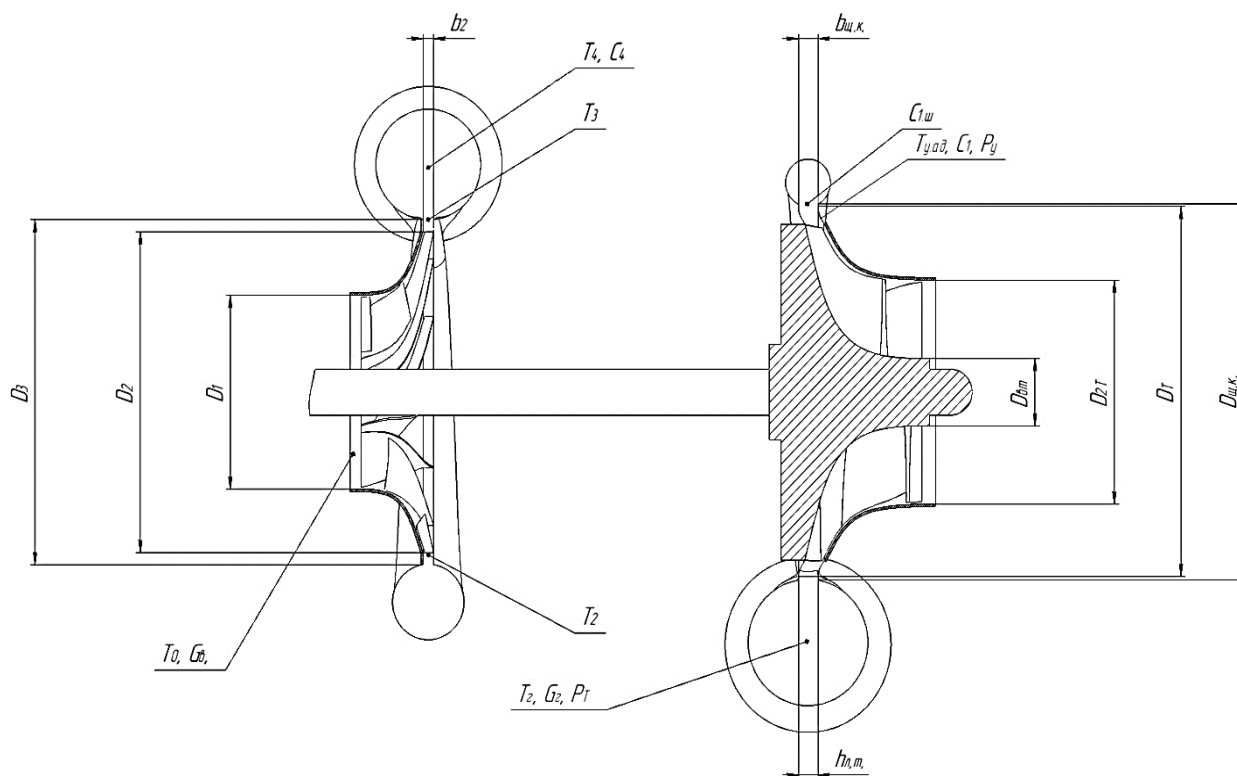


Рис. 6 Расчетная схема центробежного турбокомпрессора

$D_{вт}$ – Диаметр втулки; D_1 – Наружный диаметр колеса компрессора на входе; D_2 – Наружный диаметр колеса компрессора на выходе; D_3 – Диаметр безлопаточного диффузора; b_2 – ширина безлопаточного диффузора; $b_{ц.к.}$ – Ширина щелевого конфузора; $h_{л.т}$ – Высота лопатки колеса турбины на входе; D_T – диаметр колеса турбины на входе; D_{2T} – диаметр колеса турбины на выходе; $D_{ц.к.}$ – Диаметр щелевого конфузора;

Термо-газодинамическая модель ТКР базируется на основных уравнениях гидрогазодинамики для одномерного потока – неразрывности, движения, энергии (в осесимметричной постановке

задачи для меридианного сечения рабочего колеса центробежного компрессора или радиальной турбины), термодинамических уравнений состояния и процесса с системой замыкающих соотношений, в том числе:

- Адиабатический теплоперепад в компрессоре

$$H_{к.ад} = \frac{k}{k-1} \cdot R_B \cdot T_0 \cdot \left[\pi_k^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right],$$

или

$$H_{к.ад} = \frac{k}{k-1} \cdot R_B \cdot \left[(T_2 - T_0) \cdot \eta_{кол.ад} + (T_3 - T_2) \cdot \eta_{диф.ад} + (T_4 - T_3) \cdot \eta_{у.ад} \right] + \frac{C_4^2}{2},$$

где, $H_{к.ад}$ – адиабатический теплоперепад в компрессоре, кВт; k – показатель адиабаты для воздуха; R_B – газовая постоянная для воздуха, Дж/кг·К; T_0 – температура окружающей среды, К; π_k – степень повышения давления в компрессоре; T_2 – температура воздуха за колесом, К; T_3 – температура воздуха на выходе из диффузора, К; $\eta_{диф.ад}$ – адиабатический КПД диффузора компрессора; T_4 – температура воздуха на входе из компрессора, К; $\eta_{у.ад}$ – адиабатический КПД улитки; C_4 – скорость потока в выходном патрубке, м/с.

- Полный теплоперепад в компрессоре

$$H_k = \frac{k}{k-1} \cdot R_B \cdot (T_4 - T_0) + \frac{C_4^2}{2},$$

где, H_k – полный теплоперепад в компрессоре, Дж.

- Адиабатический КПД компрессора

$$\eta_{к.ад} = \frac{H_{к.ад}}{H_k},$$

где, $\eta_{к.ад}$ – адиабатический КПД компрессора.

- Расчетное значение КПД колеса

$$\eta_{кол.ад.ш} = \frac{\frac{H_{к.ад}}{\frac{k}{k-1} R_B} - (T_3 - T_2) \cdot \eta_{диф.ад} - (T_4 - T_3) \cdot \eta_{у.ад} - \frac{C_4^2}{2 \cdot \frac{k}{k-1} R_B}}{T_2 - T_0},$$

где, $\eta_{кол.ад.ш}$ – расчетное значение КПД колеса.

- Адиабатический напор, срабатываемый в турбине

$$H_{т.ад} = \left(H_{к.ад} \cdot \frac{G_B}{G_T} \right) + \frac{200000}{G_T},$$

где, $H_{т.ад}$ – адиабатический напор, срабатываемый в турбине, Дж;

G_B – секундный расход воздуха, кг/с;

G_T – секундный расход газов через турбину, кг/с.

- Относительный адиабатический перепад температур в турбине

$$\Delta t_{т.ад.от} = \frac{H_{т.ад}}{\frac{k_1}{k_1-1} R_T \cdot T_T},$$

где, $\Delta t_{т.ад.от}$ – относительный адиабатический теплоперепад в турбине;

$R_{г}$ – газовая постоянная выпускных газов, Дж/кг·К;

$T_{г}$ – температура отработавших газов, К;

k_1 – показатель адиабаты для газов.

- Теоретическая скорость газов

$$C_0 = \sqrt{2 \cdot H_{т.ад}},$$

где, C_0 – теоретическая скорость газов, м/с.

- Адиабатический напор, срабатываемый в улитке безлопаточного направляющего аппарата

$$H_{у.ад} = \left(\frac{C_{1.ш}}{C_1}\right)^2 \cdot H_{н.а.ад},$$

где, $H_{у.ад}$ – адиабатический напор, срабатываемый в улитке безлопаточного направляющего аппарата, Дж;

$C_{1.ш}$ – скорость газов на входе в щелевой конфузор, м/с;

C_1 – скорость газов на выходе из безлопаточного направляющего аппарата, м/с;

$H_{н.а.ад}$ – адиабатический напор, срабатываемый в безлопаточном направляющем аппарате турбины, Дж.

- Температура и давление выходе улитки безлопаточного направляющего аппарата при адиабатическом расширении

$$T_{у.ад} = T_{г} - \frac{H_{у.ад}}{\frac{k_1}{k_1-1} \cdot R_{г}}; \quad p_{у} = p_{г} \cdot \left(\frac{T_{у.ад}}{T_{г}}\right)^{\frac{k_1}{k_1-1}},$$

где, $T_{у.ад}$ – температура газов на выходе улитки безлопаточного направляющего аппарата при адиабатическом расширении, К;

$p_{у}$ – давление газов на выходе улитки безлопаточного направляющего аппарата, МПа;

$p_{г}$ – давление газов перед турбиной, МПа.

Расчет эксплуатационно-технических характеристик ТКР выполнялись по соотношениям (6)-(10):

$$N_{Т} = \frac{G_{г} \cdot H_{т.ад}}{1000}, \quad (6)$$

$$N_{К} = \frac{G_{в} \cdot H_{к.ад}}{1000}, \quad (7)$$

$$N_{д} = N_{Т} - N_{К}, \quad (8)$$

$$\eta_{к.ад} = \frac{H_{к.ад}}{H_{К}}, \quad (9)$$

$$\eta_{ТК} = \eta_{к.ад} \cdot \eta_{Ti} \cdot \eta_{м}, \quad (10)$$

где $N_{Т}$ – мощность турбины, кВт; $N_{К}$ – мощность компрессора, кВт; $N_{д}$ – полезная мощность турбины, кВт; $\eta_{ТК}$ – КПД турбокомпрессора; η_{Ti} – внутренний КПД турбины.

СОДЕРЖАНИЕ ПРОЕКТНОГО ЭТАПА ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение расчетных показателей серийной ГТУ и проектируемого ТКР позволяет сделать вывод о предпочтительном использовании ТКР в предлагаемой схеме с ВПП, вместо переоборудования серийных МГТУ.

КПД установки по данным газодинамического расчета равен 63%, следовательно, опираясь на полученные геометрические характеристики можно перейти к заключительной стадии проектирования – конструкторскому моделированию ТКР. На этом этапе необходимо проанализировать и

выбрать доступные технологии конструирования. С этой целью были проанализированы результаты исследований А.В. Пассара, В.А. Лашко [10-12], а также труды А.В. Русанова [13]. Традиционными графо-аналитическими методами, по данным методикам, выполнить моделирование проточной части не представляется возможным, поэтому было принято решение использовать систему автоматизированного проектирования турбомашин «CF -turbo» (в ознакомительном режиме по временной лицензии). Данная программа позволяет в автоматическом режиме выполнить математическое моделирование проточных частей компрессоров, турбин, насосов и вентиляторов, с выходом на произвольную геометрию проточной части, включает в себя актуальные методические и современные эмпирические данные. Задавая начальные условия, такие как параметры потока (массовый расход $M=0,766$ кг/с, температура и давление среды на входе в компрессор $t_0=15,0$ °С, $p_0=1$ бар, степень повышения давления $\pi=4$, число оборотов $n=73800$ об/мин), алгоритм программы, используя основные уравнения потока (уравнение Эйлера, количества движения, непрерывности, треугольники скоростей и т.д.) а также эмпирические зависимости (как собственных разработок, так и доступных публично), сравнивает имеющиеся данные с моделями из CF-turbo и представляет улучшенную модель. Геометрия элементов центробежного компрессора, построенная с использованием инструментов CF-turbo, представлена на рис. 5-7.

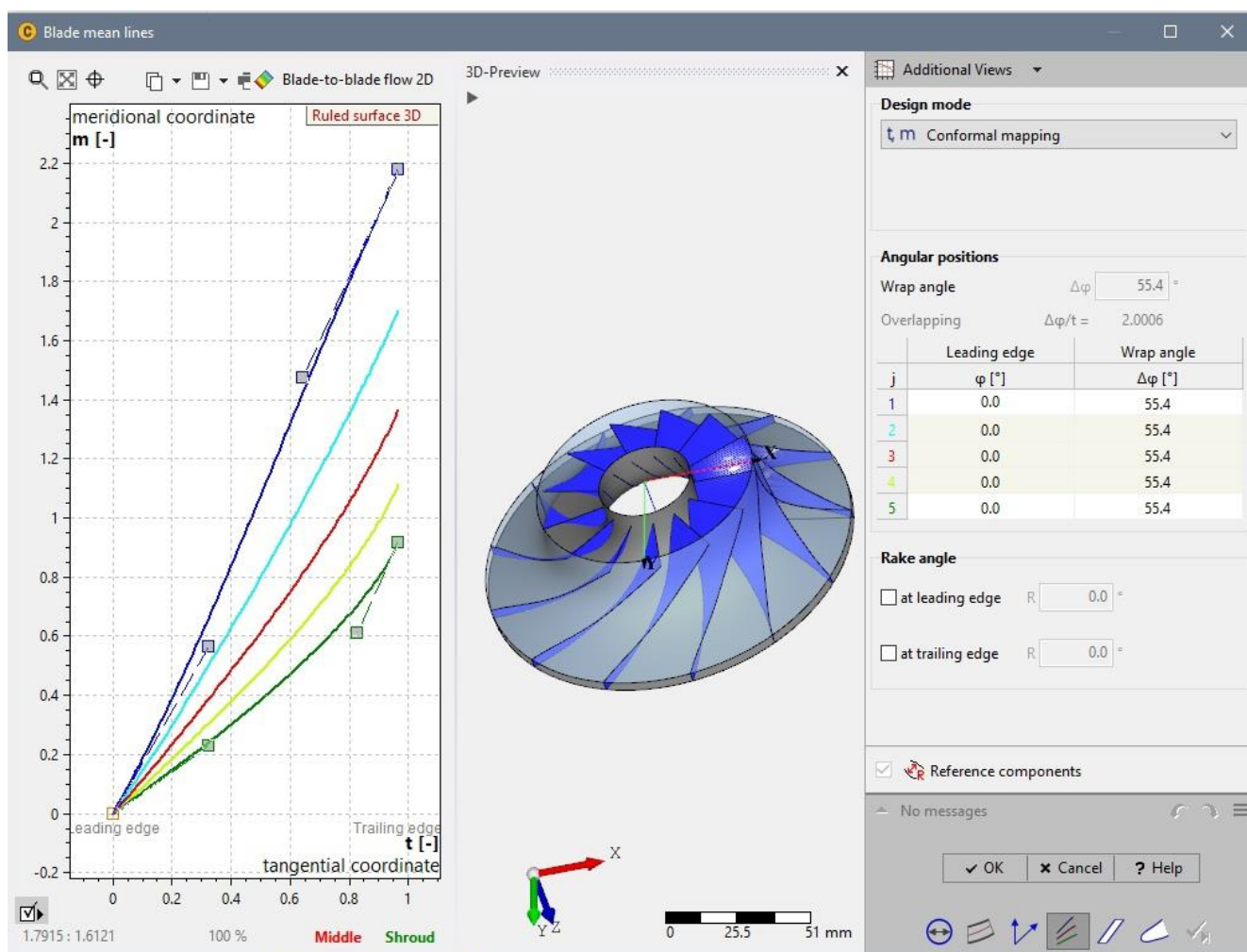


Рис. 5. Математическая визуализация модели рабочего колеса центробежного компрессора

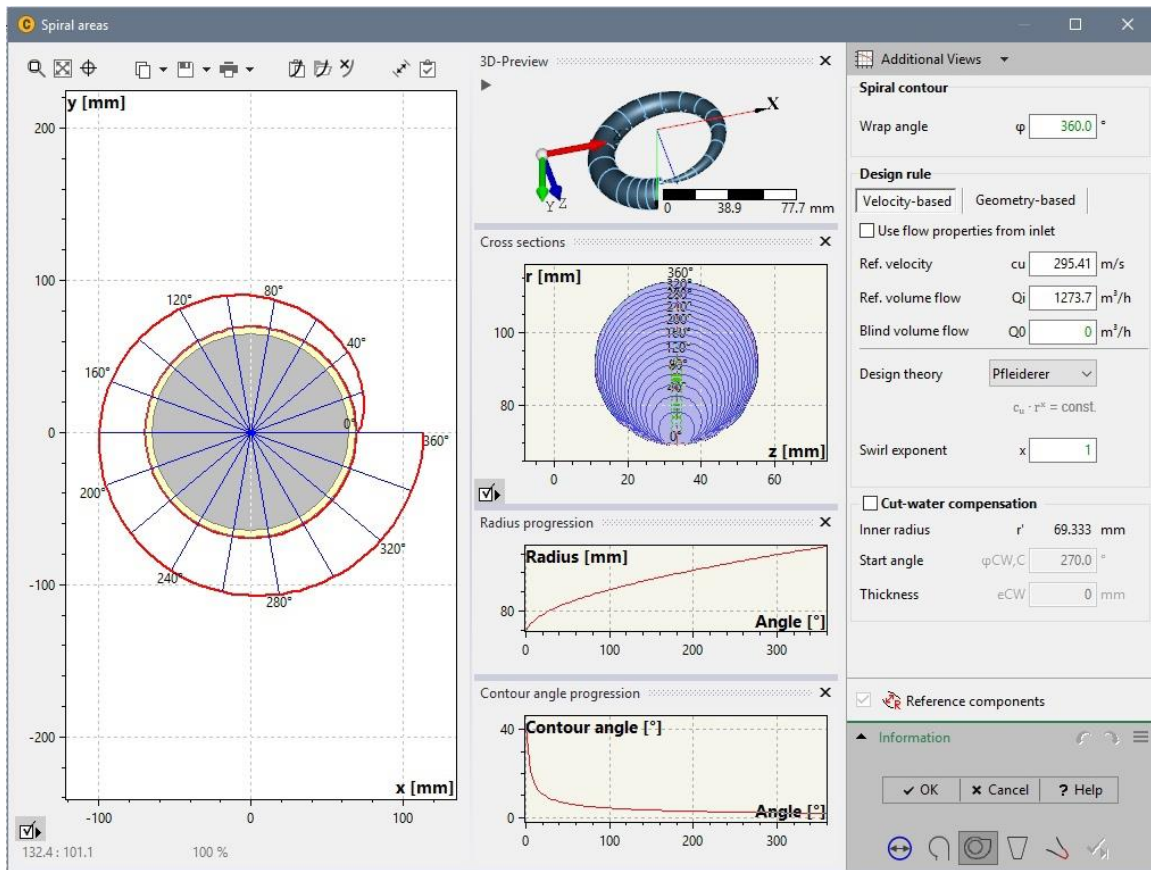


Рис. 6. Математическая визуализация модели безпаточного диффузора компрессора

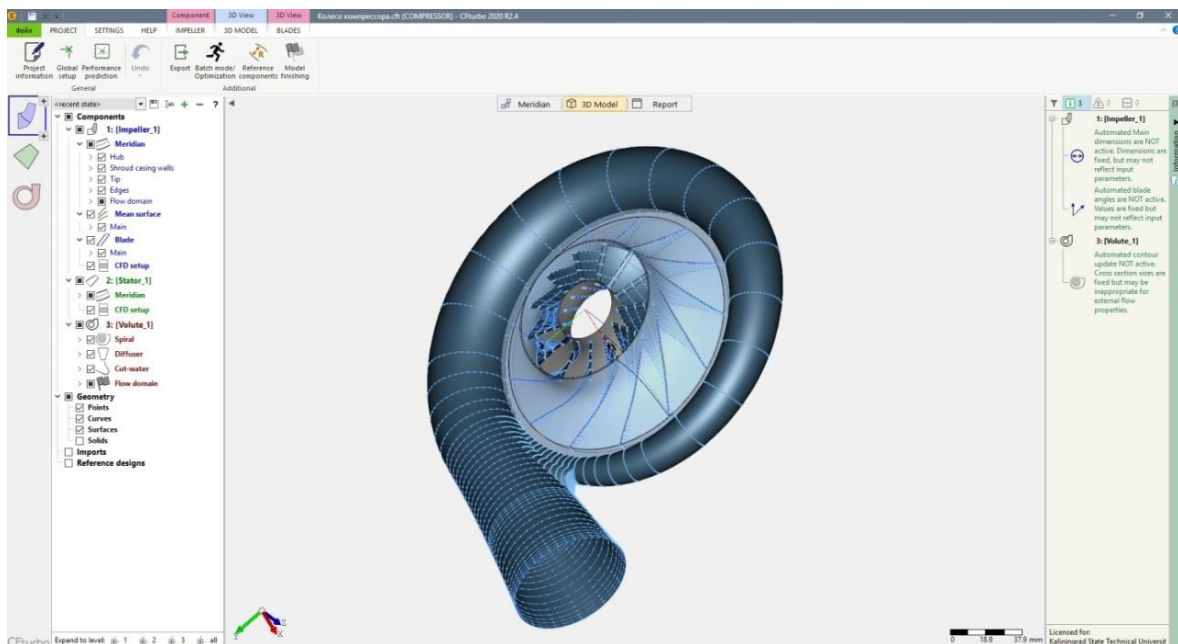


Рис. 7. Математическая визуализация модели компрессора

Моделирование колеса турбины производится аналогично моделированию модели колеса компрессора (рис. 8-10).

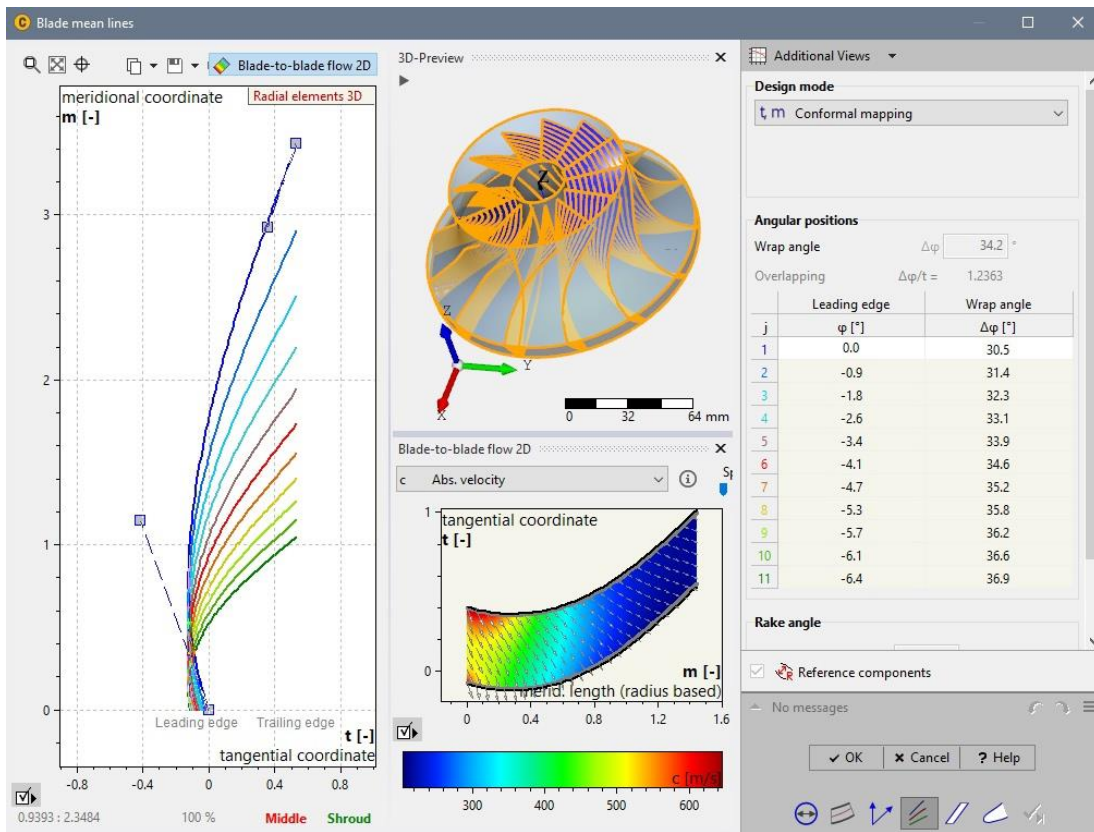


Рис. 8 Математическая визуализация векторного поля скоростей в меридианном сечении рабочего колеса турбины

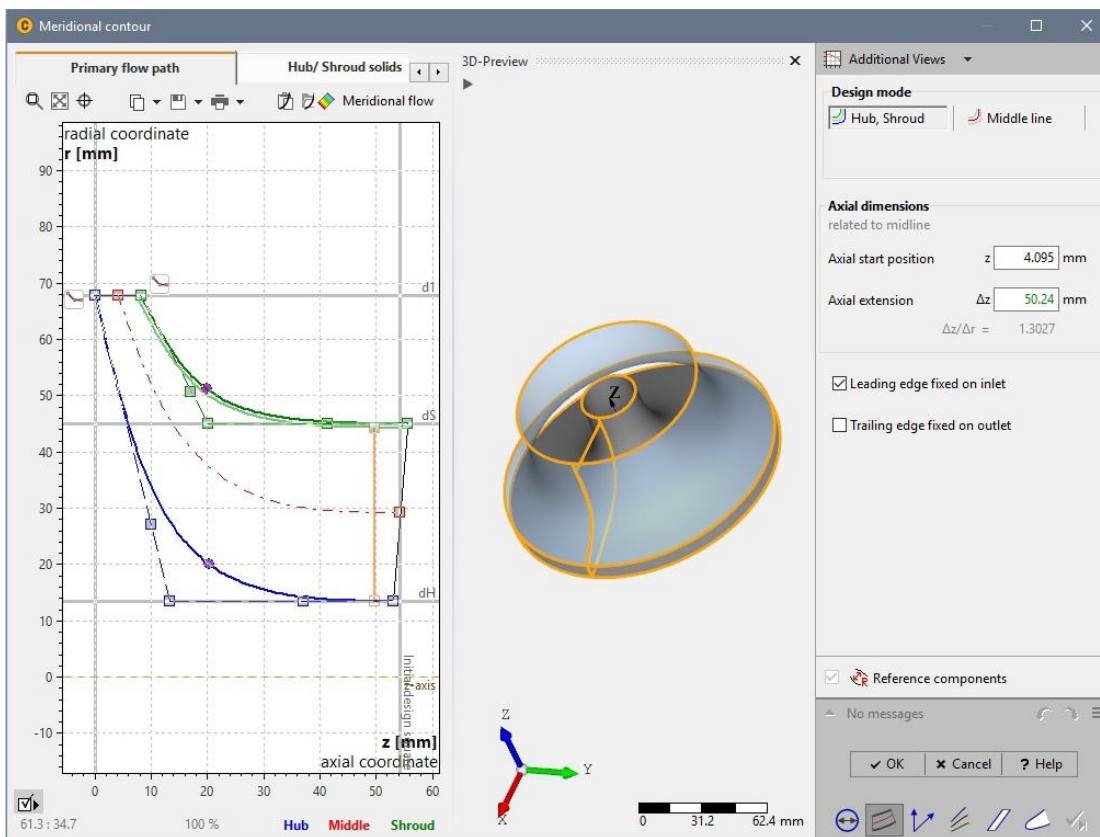


Рис. 9 Математическая визуализация профиля меридианного сечения рабочего колеса радиальной турбины

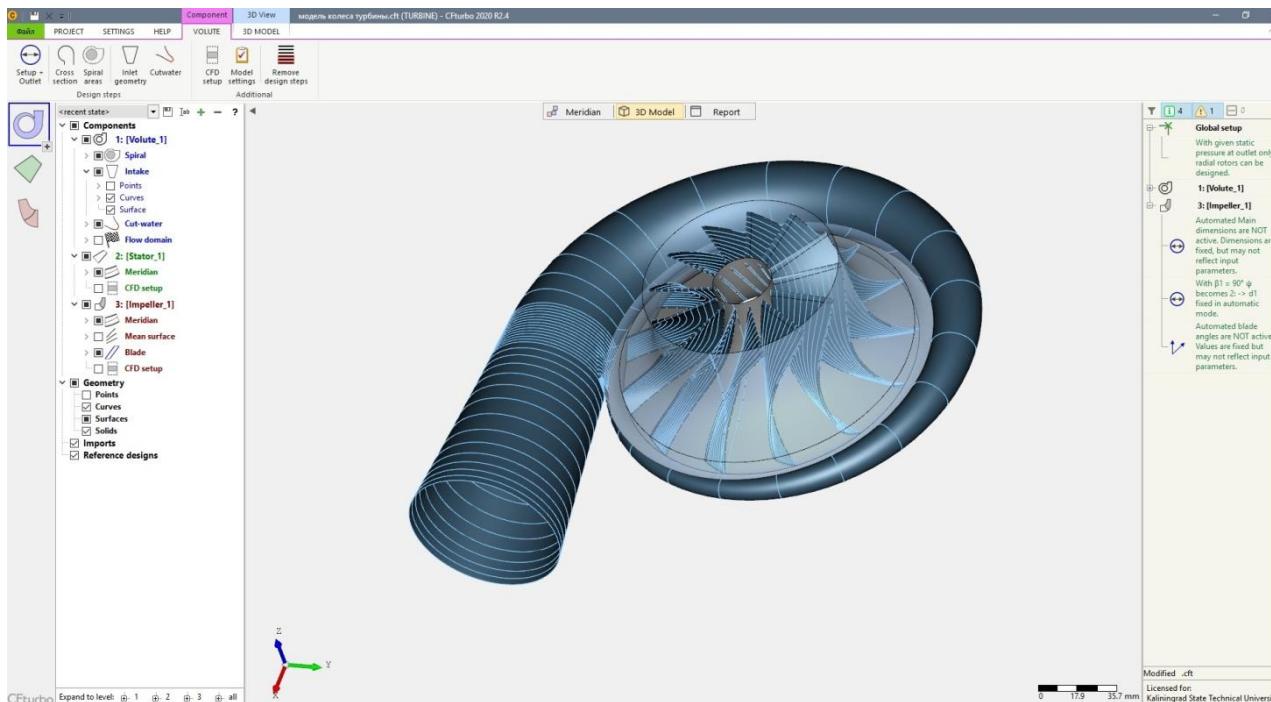


Рис. 10 Математическая визуализация модели турбины

После создания геометрических образов математических моделей выполняется стадия разработки конструкторско-технологической документации на базе пространственных моделей отдельных деталей, сборочных единиц и узлов проектируемого ТКР. Для этого, полученные модели экспортируются в САПР-программу «КОМПАС-3D».

Экспортированные математические модели необходимо преобразовать в физические, для этого всем элементам придается толщина, затем надстраиваются оставшиеся, ключевые части установки, такие как воздушный фильтр, подшипниковый узел с лепестковыми газодинамическими подшипниками, масляная система, генератор на постоянных магнитах, сборный коллектор для воздуха и уходящих газов. 3D модель проектируемого турбокомпрессора изображена на рис. 11. 3D модель с сечением основных узлов ТКР представлена на рис. 12.

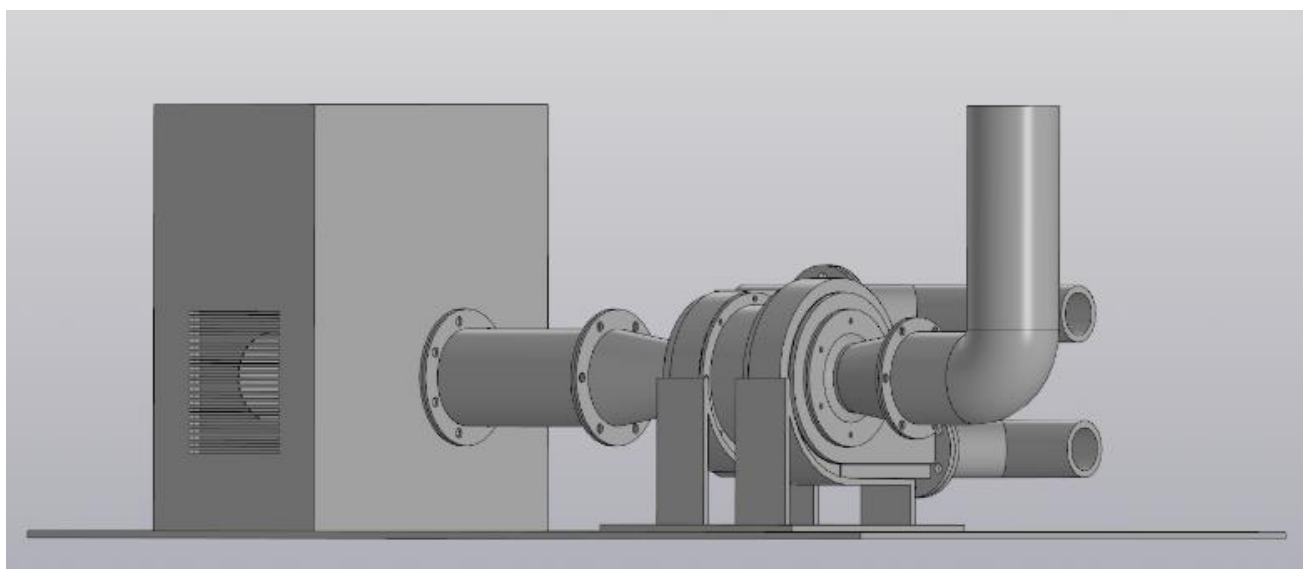


Рис. 11 3D модель проектируемого турбокомпрессора

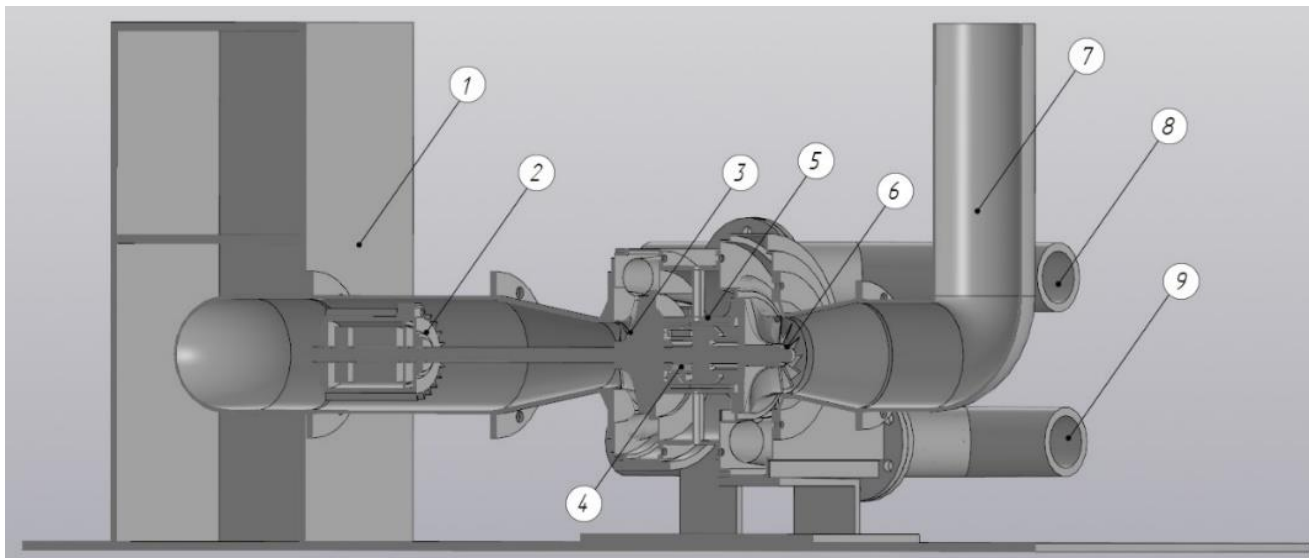


Рис. 12 Сечение основных узлов ТКР:

1 – входной воздушный фильтр; 2 – генератор на постоянных магнитах; 3 – колесо компрессора; 4 – подшипниковый узел; 5 – масляная система; 6 – колесо турбины; 7 – коллектор для уходящих газов с турбины; 8 – сборный коллектор для воздуха; 9 – сборный коллектор для уходящих газов с ВПГ

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование позволяет сделать следующие принципиальные выводы:

- эффективное сопряжение ГТУ малой мощности с ВПГ принципиально возможно;
- ГТУ в составе ПГУ с ВПГ должна представлять собой утилизационный турбокомпрессор с турбиной, как осевого, так и радиального типов;
- возможны различные варианты сопряжения и компоновки ТКР с ВПГ в составе ПГУ (например – объединение пяти ТКР в кластер для создания энергоблока с полезной мощностью 1 МВт (рис. 13).

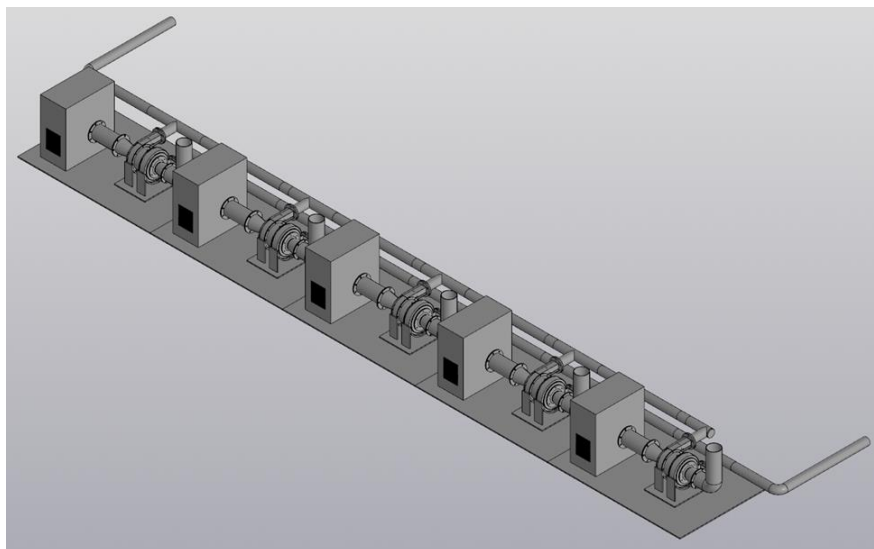


Рис. 13 Агрегатная компоновка кластера из пяти ТКР

- для создания теплоэнергетической установки на базе ГТУ с ВПГ целесообразно использовать специально спроектированные турбокомпрессорные агрегаты, не требующими глубокой модернизации, в сравнении с серийными МГТУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Калининградской области на 2019-2023 года. – Москва: АО «Научно-технический центр единой энергетической системы», 2018. – 282 с.
2. Муниципальная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности муниципального образования «Полесский муниципальный район» на 2010 – 2020 годы». - Полесск, 2010. – 122 с.
3. Селин В.В. Теоретические и прикладные аспекты распределенной энергетики Калининградской области на базе местных и возобновляемых топливно-энергетических ресурсов. Примеры разработки инновационных теплоэнергетических технологий и установок / С.В. Юрков, Е.А. Беркова// Балтийский морской форум: VI Международный Балтийский морской форум: материалы (3-6 сент. 2018 г.) [Электронный ресурс]: в 6-ти т. – Т. 2. «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», VI Международная научная конференция. – Электрон. Дан. – Калининград: Изд-во БГАРФФГБОУВО «КГТУ», 2018. – С. 331-344.
4. Шеберов П.А., Фирсова Е.В. Анализ современных микротурбинных двигателей // Современная техника и технологии. 2014. № 5 [Электронный ресурс]. URL: <https://technology.snauka.ru/2014/05/3657> (дата обращения: 12.04.2021).
5. Yoichiro Ohkubo Special Issue Technology of Micro Gas Turbine for Cogeneration System// R&D Review of Toyota. CRDL, vol 41 №1. – 2003. –р.55.
6. Тепловые и газодинамические расчеты газотурбинных установок: учебно-методическое пособие / О.В. Комаров, В.Л. Блинов, А.С. Шемякинский. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 164 с.
7. Газовая динамика и агрегаты наддува: учебно-методическое пособие /Г.М. Кухарёнок, А.Н. Петрученко, П.Н. Кишкевич, С.П. Севиздрал. — Минск: Изд-во БНТУ, 2009. — 71 с.
8. Барсков В.В. Выбор параметров и обоснование конструктивной схемы малогабаритной газотурбинной установки с независимым соотношением частот вращения роторов турбины и компрессора: Дис. ... кан. тех. наук: 05.04.12 / Рассохин Виктор Александрович; СПбПУ. — Санкт-Петербург, 2017. - 268с.
9. МЭИ ТУ. Расчет реальной газотурбинной установки. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://twf.mpei.ac.ru/MAS/Worksheets/orlov/gases/simple_gtu.mcd
10. Пассар А.В., Лашко В.А. Аналитический обзор методов расчета турбины на среднем радиусе // Справочник. Инженерный журнал. – 2013. – № S9. – С.2-12.
11. Пассар А. В. Проектирование проточных частей центростремительной турбины, работающей в условиях нестационарного потока / Под ред. В. К. Булгакова. Хабаровск, 2001. Вып. 14.
12. Лашко В. А., Пассар А. В. Проблемы проектирования проточной части центростремительной турбины, работающей в составе импульсной системы наддува КДВС // Актуальные проблемы создания, проектирования и эксплуатации современных двигателей внутреннего сгорания / Под ред. В. А. Лашко. Хабаровск, 2004. Вып. 3
13. Русанов А.В. Использование современных компьютерных технологий для создания высокоэффективных проточных частей радиально-осевого типа / А.В. Русанов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2013. – № 2(32) – С. 4 – 9.

UTILIZATION TURBO-COMPRESSOR FOR LOW-POWER SGU WITH HIGH-PRESSURE STEAM GENERATOR

¹Yurkov Sergey Valerievich, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

²Nesmachnykh Nikita Andreevich, engineer

¹FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹sergej.yurkov@klgtu.ru

²BEM LLC, Kaliningrad, Russia, e-mail: ²nna@balt-energo.ru

The possibility of coupling a high-pressure steam generator (HPSG) with a low-power turbocharger (TC) designed on the basis of serial small-sized gas turbine units (SGTU) is considered. The efficiency of the use of serial SGTU for coupling with HPSG is investigated. An analysis of the companies involved in the manufacturing and production of SGTU, as well as methods of design and modeling of the main nodal elements of TC has been performed. Verification thermodynamic and gasdynamic calculations are made, a 3D model of the unit under study and its key components is developed. The structural diagram and operating principle of the designed unit are proposed.

УДК621.438.081.12

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОЙ ПАРОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ВОДОРОДНОЙ STIG-ТЕХНОЛОГИИ ГТУ

¹Юрков Сергей Валерьевич, доцент кафедры судовых энергетических установок и теплоэнергетики

²Филиппова Валерия Михайловна, инженер-конструктор

¹ ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹sergej.yurkov@klgtu.ru

²ООО «КТМЗ», Калининград, Россия, e-mail: ²fvm@balt-energo.ru

Выполнено численное моделирование рабочего процесса газотурбинной установки (ГТУ) «Capstone C200» с использованием разработанного алгоритма при работе на топливе с различным содержанием водорода (от 0 до 100 %), с учетом и без учета внутрицикловой регенерации, с учетом процесса термической диссоциации водяных паров и двуокиси углерода при горении топлива переменного состава. Выполнена оценка возможности использования моделируемых процессов ГТУ в рабочем процессе бинарной парогазовой установки (ПГУ): а) утилизационного типа с переменным содержанием водяных паров в продуктах горения; б) утилизационного типа с технологией прямого впрыска пара в камеру сгорания ГТУ (Steam Injected in Gas Turbine – STIG) при сжигании чистого водорода в кислородной среде. Оптимизированы параметры комбинированной ПГУ на базе водородной STIG-технологии ГТУ.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования определяется тенденциями развития стационарной энергетики в целом, и региональной энергетики, в частности. Одной из ключевых задач такого развития является создание высокоэффективных теплоэнергетических установок малой мощности, обладающих высокой топливной надежностью и конкурентными массо-габаритными характеристиками [1]. Если посмотреть на структуру топливного баланса Калининградской области, то можно заметить, что основным видом топлива является природный газ. Такое положение стимулирует разработку и поиск различных экологически чистых и ресурсосберегающих методов его переработки, одним из которых является паровая конверсия метана в топливном процессоре. Образующийся при этом водород, как было исследовано ранее на кафедре СЭУ и ТЭ, требуется для решения задачи пагубного взаимовлияния рабочей температуры и давления перегрева в низконапорных парогенераторах на эксплуатационные характеристики, то есть используется для перегрева пара в выносном водородно-кислородном пароперегревателе.

Раз мы уже получаем и используем водород в пароперегревателе, возникает вопрос, а существует ли возможность более эффективного его использования, например, в качестве основного топлива для сжигания в камере сгорания. Если да, то как этот процесс повлияет на эксплуатационные характеристики штатной ГТУ, спроектированной на углеводородном топливе.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленной задачи в качестве объекта исследования выбрана ГТУ «Capstone C200», работающая на природном газе. Термодинамический расчёт выполняется с целью установления расчетных параметров эксплуатационным характеристикам ГТУ. В расчетах использовались паспортные характеристики ГТУ «Capstone C200» [2] и результаты испытаний «Capstone C30» (анализировалась методика расчета) [3].

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является расчет и оптимизация параметров рабочего процесса ГТУ «Capstone C200» при работе на топливе с различным содержанием водорода в составе ПГУ: а) утилизационного типа с переменным содержанием водяных паров в продуктах горения; б) утилизационного типа с технологией STIG(впрыском пара в камеру сгорания при сжигании 100% водорода). Для этого выполняем тестовый расчёт рабочего процесса ГТУ «Capstone C200» с регенерацией по паспортным данным и результатам испытаний с использованием программы с расчетного сервера МЭИ, дорабатываем программу с целью учета дополнительных исходных данных: а) переменный состав топлива(метан-водород); б) влияния теплоты диссоциации продуктов горения на температуру продуктов горения; в) влияния регенерации на параметры ГТУ, выполняем по разработанному алгоритму расчетов рабочего процесса и оцениваем возможность использовать ГТУ в составе ПГУ.

МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для данного исследования использовался метод численного моделирования рабочего процесса газотурбинной установки. Для определения расчетных параметров ГТУ «Capstone C200» с регенерацией был выполнен термодинамический расчет с использованием программы с сервера МЭИ [4]. Методика МЭИ предполагает использование пакета функций WaterSteamPro для определения свойств рабочих тел ГТУ.

Интерфейс ввода исходных данных для расчета цикла ГТУ «Capstone C200» по программе расчетного сервера МЭИ представлен на рис. 1.

Расчет цикла Брайтона с регенерацией

Массовый расход входящего воздуха $G_{вх}$, kg/sec	1.433	Температура входящего воздуха $t_{вх}$, °C	18
Относительная влажность входящего воздуха $\phi_{вх}$, %	60	Вн. относительный КПД компрессора $\eta_{0i_к}$, %	86
Давление входящего воздуха $P_{вх}$, МПа	0.1013	Внутренний относительный КПД газ. турбины $\eta_{0i_г}$, %	90
Повышение давления в компрессоре π_k	4	Температура на входе в газовую турбину t_3 , °C	849
Низшая теплота сгор. топл. $Q_{н_р}$, MJ/kg	50	Состав топл. X_{CH_4} , %	100
Температура вход. топл. t_f , °C	15	Давление вход. топл. P_T , МПа	0.6
Температура воздуха на выходе из регенератора t_5 , °C	501		
Температура определения низшей теплоты сгор. топл. $t_{Qн_р}$, °C	15		
Избыточное давл. топлива перед камерой сгор. $\Delta P_{т_к}$, МПа	0.5		
Вн. относительн. КПД топл. компрессора $\eta_{0i_тк}$, %	90	Потери давл. в камере сгор. $\delta r_{к_с}$, %	5
Потери давления воздуха в регенераторе $\delta r_{р_в}$, %	5	Потери давл. уходящих газов в Р $\delta r_{р_г}$, %	5
Коэффициент использования теплоты камеры сгорания $\eta_{к_с}$, %	99.8		
КПД электрогенератора $\eta_{г}$, %	98	Механический КПД $\eta_{м}$, %	99

Recalculate

Рис.1 Исходные данные для расчета цикла ГТУ «Capstone C200»

Результаты расчета (рис. 2) показали полное соответствие эксплуатационным характеристикам ГТУ (электрическая мощность -200 кВт; КПД по электричеству - 33 %; рабочее давления топлива на входе - 6 бар; максимальная температура выхлопных газов - 275). Следовательно, используемый алгоритм можно взять за основу дальнейшего расчета и доработать с целью учета оценки влияния дополнительных факторов на рабочий процесс.

Результирующие показатели ГТУ с регенерацией

Расход газа через ГТ

$$G_T := \begin{cases} \text{"Скорректируйте темп. воздуха на выходе из Р"} \\ \left(\frac{g_{вх_изб} + L_0 + 1}{g_{вх_изб} + L_0} \right) G_{вх} \text{ otherwise} \end{cases} = 1.445 \text{ kg g/sec}$$

$$\text{Расход топлива } B_T := \left(\frac{1}{g_{вх_изб} + L_0} \right) G_{вх} = 0.0121 \text{ kg f/sec}$$

$$\text{Теплота, подведенная в ГТУ } Q_1 := h_{1_qnr} G_{вх} + (h_{вх_тк_qnr} + Q_{H_p} \eta_{k_c}) B_T = 0.608 \text{ MW}$$

$$\text{Мощность компрессора } N_k := \left(\frac{l_{k_д}}{\eta_M} \right) G_{вх} = 0.24 \text{ MW}$$

$$\text{Мощность ТК } N_{ТК} := \frac{l_{ТК_д}}{\eta_M} B_T = 0.825 \text{ kW}$$

$$\text{Мощность ГТ } N_{ГТ} := (l_{ГТ_д} G_T) \eta_M = 445.771 \text{ kW}$$

$$\text{Мощность электрогенератора ГТУ } N_{ГТУ} := (N_{ГТ} - N_k) \eta_G - N_{ТК} = 200.679 \text{ kW}$$

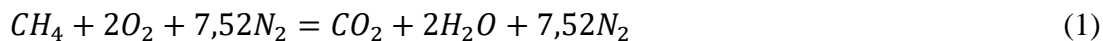
$$\text{Электрический КПД ГТУ } \eta_{э_ГТУ} := \frac{N_{ГТУ}}{Q_1} = 33.004 \%$$

Рис.2. Результаты серверного расчета цикла ГТУ «Capstone C200»

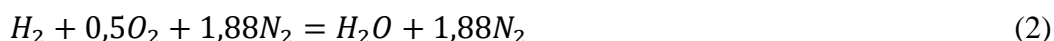
Так как, рассматриваемая нами серийная ГТУ спроектирована для работы на углеводородном топливе заданного состава, возникает вопрос о характере и степени влияния переменного химического состава рабочего топлива на ее эксплуатационные характеристики. Таким образом, ключевая задача исследования - учет влияния переменного состава топлива (метан-водород) на эксплуатационные и режимные параметры теплового двигателя .

Рассмотрим реакции горения метана и водорода в воздухе.

Уравнение горение метана(1):



Уравнение горение водорода(2):



Количество вещества в уравнениях горения метана и водорода приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения стехиометрических коэффициентов в уравнениях горения метана и водорода

Наименование газа	Количество вещества					
	пO2, моль	пN2, моль	пCH4, моль	пH2, моль	пH2O, моль	пCO2, моль
1	2	3	4	5	6	7
CH4	2	7,52	1	-	2	1
H2	0,5	1,88	-	1	1	-

Теоретическое количество входящего воздуха, необходимое для полного сгорания переменного состава топлива при н/у определим по формуле (3):

$$V_B = \frac{(n_{1_O2} + n_{1_N2}) \cdot V_m}{n_{1_CH4} \cdot V_m} \cdot g_1 + \frac{(n_{2_O2} + n_{2_N2}) \cdot V_m}{n_{2_H2} \cdot V_m} \cdot g_2, \text{ м}^3 / \text{м}^3, \quad (3)$$

где $V_m = 22,4$ л/моль – молярный объем, л/моль

$n_{1_O2}, n_{1_N2}, n_{1_CH4}$ – количество O2, N2, CH4 при сжигании метана, моль

$n_{2_O2}, n_{2_N2}, n_{2_H2}$ – количество O2, N2, H2 при сжигании водорода, моль

g_1, g_2 – доля CH4 и H2 в топливе.

Объемы продуктов сгорания приведены в табл. 2:

Таблица 2

Объемы продуктов сгорания

Величина	Единица измерения	Способ определения	Значение
Объем CO ₂ при сжигании CH ₄	м ³ /м ³	$V_{1_CO2} = \frac{n_{1_CO2} \cdot V_m}{n_{1_CH4} \cdot V_m}$	1
Объем H ₂ O при сжигании CH ₄	м ³ /м ³	$V_{1_H2O} = \frac{n_{1_H2O} \cdot V_m}{n_{1_CH4} \cdot V_m}$	2
Объем N ₂ при сжигании CH ₄	м ³ /м ³	$V_{1_N2} = \frac{n_{1_N2} \cdot V_m}{n_{1_CH4} \cdot V_m}$	7,52
Объем H ₂ O при сжигании H ₂	м ³ /м ³	$V_{2_H2O} = \frac{n_{2_H2O} \cdot V_m}{n_{2_H2} \cdot V_m}$	1
Объем N ₂ при сжигании H ₂	м ³ /м ³	$V_{2_N2} = \frac{n_{2_N2} \cdot V_m}{n_{2_H2} \cdot V_m}$	1,88

Объем продуктов сгорания переменного состава топлива определим по формуле (4):

$$V_{\text{пр}} = (V_{1_CO2} + V_{1_H2O} + V_{1_N2}) \cdot g_1 + (V_{2_H2O} + V_{2_N2}) \cdot g_2, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (4)$$

Теоретическую массу воздуха, необходимого для сжигания 1 кг топлива переменного состава определим по формуле (5):

$$L_0 = \left(\frac{n_{1_O2} \cdot \mu_{O2} + n_{1_N2} \cdot \mu_{N2}}{n_{1_CH4} \cdot \mu_{CH4}} \right) \cdot g_1 + \left(\frac{n_{2_O2} \cdot \mu_{O2} + n_{2_N2} \cdot \mu_{N2}}{n_{2_H2} \cdot \mu_{H2}} \right) \cdot g_2, \text{ кг/кг}, \quad (5)$$

где $\mu_{O2}, \mu_{N2}, \mu_{CH4}, \mu_{H2}$ – молярная масса O₂, N₂, CH₄, H₂, кг/моль

По данным [5] молярные массы этих веществ равны соответственно

$$\mu_{O2} = 0,032 \text{ кг/моль};$$

$$\mu_{N2} = 0,028 \text{ кг/моль};$$

$$\mu_{CH4} = 0,016 \text{ кг/моль};$$

$$\mu_{H2} = 0,002 \text{ кг/моль}.$$

Теоретическую массу продуктов сгорания топлива переменного состава определим по формуле (6):

$$L_{\text{пр}} = L_0 + 1, \text{ кг/кг} \quad (6)$$

Полученные значения выше указанных величин для разной доли водорода в топливе представлены в табл. 3.

Таблица 3

Количество воздуха и продуктов сгорания в зависимости от содержания водорода в топливе

Доля H ₂ в топливе, %	V _в , м ³ /м ³	V _{пр} , м ³ /м ³	L ₀ , кг/кг	L _{пр} , кг/кг
1	2	3	4	5
0	9,52	10,52	17,16	18,16
10	8,81	9,76	18,88	19,88
20	8,09	8,99	20,59	21,59
30	7,38	8,23	22,31	23,31
40	6,66	7,46	24,02	25,02
50	5,95	6,7	25,74	26,74
100	2,38	2,88	34,32	35,32

При подаче топлива и воздуха в камеру сгорания образуется топливовоздушная смесь, которая в результате горения выделяет теплоту. Сумма энтальпий этих трех компонентов представляет

собой энтальпию продуктов сгорания. Для охлаждения смеси и замедления реакции горения в камере сгорания подается вторичный воздух. Сумма энтальпии продуктов сгорания и вторичного воздуха представляют собой энтальпию газовой смеси на выходе из камеры сгорания.

Расчетная схема баланса энтальпии продуктов сгорания изображена на рис. 3.

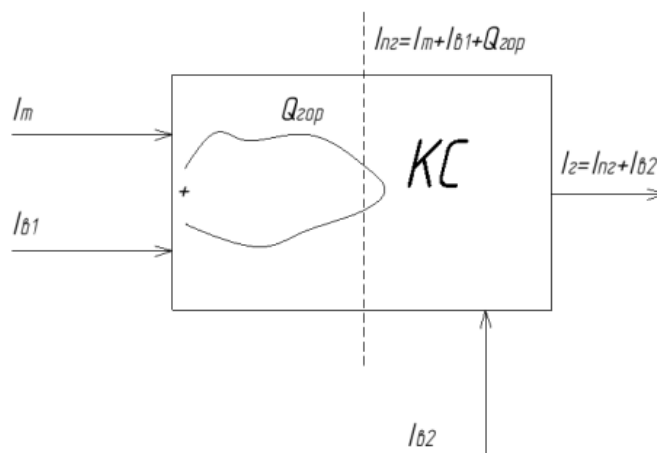


Рис.3 Схема баланса энтальпии материальных потоков камеры сгорания

I_T – энтальпия топлива, I_{B1} – энтальпия первичного воздуха, I_{B2} – энтальпия вторичного воздуха, $Q_{гор}$ – теплота горения, $I_{пг}$ – энтальпия продуктов горения, I_T – энтальпия газов.

Энтальпия смеси на 1 м^3 топлива в зависимости от температуры для топлива переменного состава при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1$ определим по формуле (7):

$$I_T = (V_{1_{CO_2}}(c\vartheta)_{CO_2} + V_{1_{N_2}}(c\vartheta)_{N_2} + V_{1_{H_2O}}(c\vartheta)_{H_2O}) \cdot g_1 + (V_{2_{N_2}}(c\vartheta)_{N_2} + V_{2_{H_2O}}(c\vartheta)_{H_2O}) \times g_2, \text{ кДж/м}^3 \quad (7)$$

Для топлива с содержанием 100% водорода энтальпию водяных паров $(c\vartheta)_{H_2O}$ будем определять по i-s диаграмме для воды и водяного пара [6], так как там учитывается теплота конденсации.

Для приведения полученных энтальпий к 1 кг продуктов сгорания находится их плотность по уравнению состояния Менделеева-Клапейрона.

Задаваясь переменным соотношением водорода и метана в топливе в реакциях горения CH_4 и H_2 , можно получить различные по составу смеси продуктов горения, обладающие высокой энтальпией. Но при этом, температура продуктов сгорания также будет меняться (с увеличением доли водорода – возрастать), что приводит к неизбежной диссоциации двуокиси углерод с образованием CO и O_2 и водяных паров с образованием H_2 и O_2 и, как следствие, понижению температуры в КС. Поэтому учет влияние теплоты диссоциации продуктов горения на расчётную температуру продуктов горения при увеличении доли водорода в составе топлива является обязательным.

Теплота диссоциации при сжигании метана определяется по формуле (8):

$$Q_{дис_1} = Q_{дис_{H_2O}} + Q_{дис_{CO_2}}, \quad (8)$$

где $Q_{дис_{H_2O}} = m_{H_2O} \cdot \beta \cdot Q_{2_{H_2P}}$ – теплота диссоциации водяных паров, кДж;

m_{H_2O} – масса водяных паров, кг;

β – степень диссоциации водяных паров по парциальному давлению и температуре горения;

$Q_{2_{H_2P}}$ – низшая рабочая теплота сгорания водорода, кДж;

$Q_{дис_{CO_2}} = m_{CO_2} \cdot \alpha \cdot Q_{CO_{H_2P}}$ – теплота диссоциации двуокиси углерода, кДж;

m_{CO_2} – масса двуокиси углерода, кг;

α – степень диссоциации двуокиси углерода по парциальному давлению и температуре горения;

$Q_{CO_{H_2P}}$ – низшая рабочая теплота сгорания окиси углерода, кДж.

По данным [5] низшая рабочая теплота сгорания H_2 и CO равна соответственно

$$Q_{2_{H_2,р}} = 120000 \text{ кДж};$$

$$Q_{CO_{H_2,р}} = 10112 \text{ кДж}.$$

Степени диссоциации водяных паров β и двуокиси углерода α указаны в [7, табл. 32,33].

Теплота диссоциации при сжигании водорода определяется по формуле (9):

$$Q_{дис_2} = Q_{дис_{H_2O}} \quad (9)$$

Теоретическая температура горения при сжигании топлива переменного состава определяется по таблице энтальпий продуктов сгорания для расчетного топлива при разных соотношениях CH_4 и H_2 .

При этом энтальпий продуктов сгорания определяется по формуле(10):

$$i_{пг} = \frac{(Q_{1_{H_2,р}} - Q_{дис_1}) \cdot g_1 + (Q_{2_{H_2,р}} - Q_{дис_2}) \cdot g_2}{L_{пг}}, \quad (10)$$

где $Q_{1_{H_2,р}} = 50000 \text{ кДж}$ – низшая рабочая теплота сгорания метана, кДж/кг [5].

Регенерация оказывает наибольшее влияние на параметры ГТУ, а именно влияет на эффективный электрический КПД ГТУ. Расчет регенератора производится на основе уравнений баланса энергии для потока отходящих газов ГТУ и воздуха подаваемого в камеру сгорания.

После оценки влияния дополнительных факторов на рабочий процесс переходим к выполнению численного моделирования рабочего процесса ГТУ «Capstone C200» с использованием разработанного в Mathcad алгоритма при работе на топливе с различным содержанием водорода (от 0 до 100 %).

Результирующие показатели термодинамических расчетов в зависимости от доли водорода в топливе без учета регенерации представлены в табл. 4 и на рис. 4.

Таблица 4

Результирующие показатели термодинамических расчетов рабочего процесса ГТУ в зависимости от доли водорода в топливе без учета внутрицикловой регенерации

Доля H_2 в топливе, %	$t_{пг,р}$, °C	$h_{пг,р}$, кДж/кг	$Q_{H_2,р}$, кДж/кг	L_0 , кг/кг	$L_{пг}$, кг/кг	α	N_K , кВт	$N_{ГТ}$, кВт	$N_{ТК}$, кВт	$G_{вх}$, кг/с	V_T , кг/с · 10 ³
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	1912	2567	2567	17,16	18,16	2,89	189,0	390,7	1,7	1,15	23
10	1950	2655	2868	18,88	19,88	2,95	179,6	381,8	2,2	1,10	20
20	1983	2737	2964	20,59	21,59	3,00	171,8	374,4	2,6	1,05	17
30	2018	2822	3046	22,31	23,31	3,06	163,4	366,3	2,9	0,99	15
40	2058	2912	3117	24,02	25,02	3,12	156,5	359,6	3,1	0,96	13
50	2095	3010	3179	25,74	26,74	3,18	150,1	353,4	3,3	0,92	11
100	1681	4383	4014	34,32	35,32	1,93	66,0	269,4	3,3	0,40	62

Скачек значений параметров на отметке 50% связан со следующим моментом: при сжигании топлива переменного состава с долей водорода до 50% продукты сгорания содержат небольшое количество водяных паров, и их энтальпия $(с\vartheta)_{H_2O}$ находится по табл. XIV[6]; при сжигании 100% водорода в воздухе массовое содержание водяных паров в продуктах сгорания составляет 25%, а при сжигании в кислороде увеличивается до 100%, поэтому в этом случае энтальпия водяных паров $(с\vartheta)_{H_2O}$ находится по i-s диаграмме для воды и водяного пара [6], так как там учитывается теплота конденсации. Из-за того, что мы перешли на использование другой зависимости энтальпии от температуры после доли водорода в топливе равной 50%, мы наблюдаем скачек всех параметров на

отметке 50, если бы мы перешли на другую зависимости энтальпии от температуры раньше, то скачек появился также раньше.

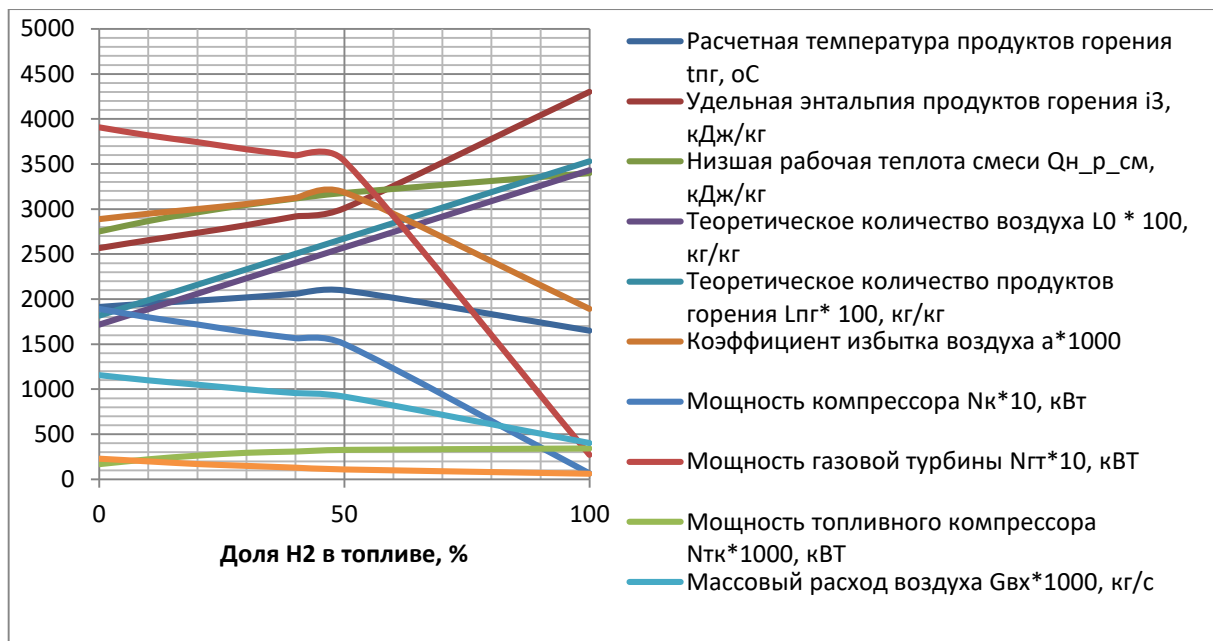


Рис.4 Результаты термодинамического расчета параметров рабочего процесса в зависимости от доли водорода в топливе без учета регенерации

Результатирующие показатели термодинамических расчетов в зависимости от доли водорода в топливе с учетом регенерации представлены в табл. 5. и на рис. 5.

Таблица 5

Результатирующие показатели термодинамических расчетов рабочего процесса ГТУ в зависимости от доли водорода в топливе с учетом внутрицикловой регенерации

Доля H2 в топливе, %	α	N_K , кВт	$N_{ГТ}$, кВт	$N_{ТК}$, кВт	$G_{ВХ}, \frac{кг}{с}$	$B_{Г}, \frac{кг}{с} \cdot 10^3$
1	2	3	4	5	6	7
0	4,49	191,1	392,2	1,1	1,17	15
10	4,55	181,1	382,5	1,4	1,11	13
20	4,59	172,8	374,5	1,7	1,06	11
30	4,63	164,1	366,1	1,9	1,00	10
40	4,70	157,0	359,0	2,0	0,96	85
50	4,76	150,4	352,5	2,2	0,92	75
100	2,13	66,0	269,1	3,0	0,40	55

Результаты расчета с учетом регенерации показали значительное увеличение коэффициента избытка воздуха(до доли H2 в топливе 50 %, затем резкое снижение), небольшое увеличение мощность топливного компрессора, и незначительные снижения остальных параметров. Скачек связан с той же энтальпией водяных паров, что и в расчетах без учета регенерации.

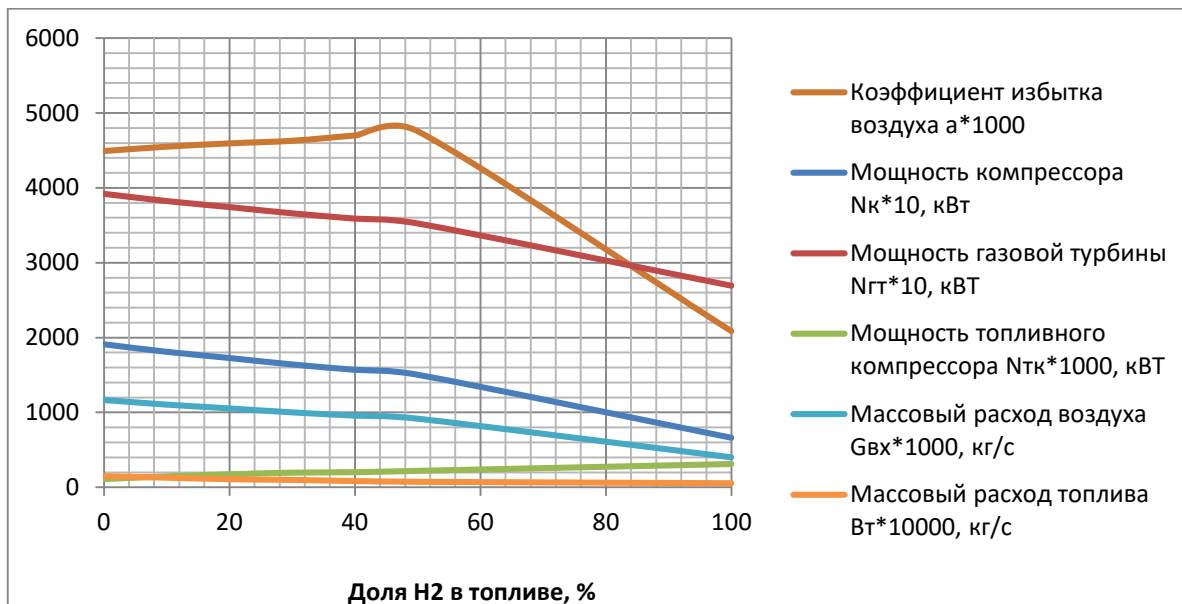


Рис.5 Результаты термодинамического расчета параметров рабочего процесса в зависимости от доли водорода в топливе с учетом регенерации

Результаты расчета процесса сжигания чистого водорода в кислороде с впрыском в КС водяных паров представлены в табл. 6

Таблица 6

Результаты расчета параметров процесса горения чистого водорода в кислороде с впрыском в КС водяных паров

Доля H2 в топливе, %	$t_{пг,р}, ^\circ\text{C}$	$h_{пг,р}, \text{кДж/кг}$	$Q_{н,р}, \text{кДж/кг}$	$L_0, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$	$L_{пг}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$	$m_{H2O}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$	$N_k, \text{кВт}$	$N_{гт}, \text{кВт}$	$N_{тк}, \text{кВт}$	$G_{вх}, \text{кг/с}$	$B_t, \text{кг/с} \cdot 10^3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100	2867	10399	15754	8	9	36.3	63,16	267,96	4,79	0,39	9

Результаты расчета КПД ГТУ с учетом и без учета регенерации при горении в воздухе и кислороде представлены на рис. 6 и в табл. 7.

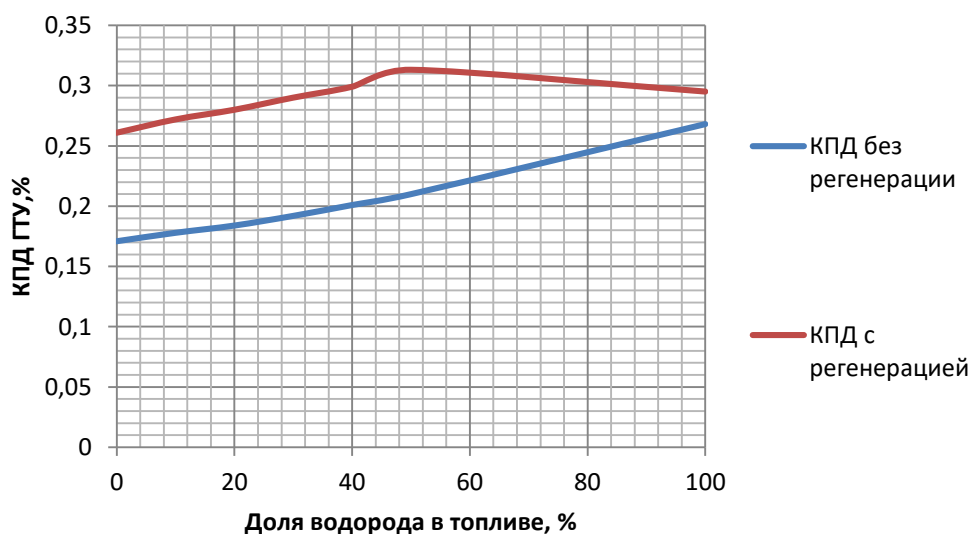


Рис.6 Результаты КПД с учетом и без учета регенерации при горении в воздухе и кислороде

**Результирующие показатели термодинамических расчетов параметров рабочего процесса
в зависимости от доли водорода в топливе с учетом регенерации**

Доля водорода в топливе, %	КПД, % (без учета регенерации)	Температура ух. газов, °С	Возможность дальнейшего использования теплоты	КПД, % (с учетом регенерации)	Температура ух. газов, °С	Возможность дальнейшего использования теплоты
1	2	3	4	5	6	7
0	0,171	594	Да	0,261	275	Нет
10	0,178	589	Да	0,272	275	Нет
20	0,184	585	Да	0,28	275	Нет
30	0,192	579	Да	0,29	275	Нет
40	0,201	575	Да	0,299	275	Нет
50	0,21	570	Да	0,313	275	Нет
100(при горении в воздухе)	0,268	547	Да	0,295	360	Да
100(при горении в О ₂ с впрыском в КС водяных паров из КУ)	0,239	159	Нет	(оставшейся теплоты недостаточно для дальнейшего использования)	-	Нет

По результатам расчетов видно, что при сжигании топлива переменного состава без учета регенерации с увеличением доли водорода КПД увеличивается. Помимо этого появляется возможность дальнейшего использования теплоты уходящих газов ГТУ в составе ПГУ утилизационного типа с переменным содержанием Н₂О в ПГ и, следовательно, возможность увеличения КПД установки.

При сжигании топлива переменного состава с учетом регенерации с увеличением доли водорода КПД сначала увеличивается, а затем уменьшается. Это обусловлено следующим:

1) использованием разных зависимостей энтальпии от температуры до и после доли водорода в топливе равной 50%;

2) при смешении топлива с воздухом, получившаяся смесь представляет собой воду в капельном состоянии и для перевода ее в парообразное состояние требуется дополнительная энергия, в этом случае мы используем высшую теплоту сгорания топлива $Q_{в.р.}$.

Рабочее тело с содержанием 100% водорода оказалось наилучшим вариантом для дальнейшего использования. С учетом регенерации этот вариант не выигрывает в части КПД у варианта с 50% содержанием водорода, но имеет больший потенциал для дальнейшего использования (температура уходящих газов 360 °С), поэтому следующим этапом является оценка возможности использования моделируемых процессов ГТУ в рабочем процессе бинарной ПГУ утилизационного типа с переменным содержанием Н₂О в продуктах горения.

Сжигание 100% водорода в кислороде с впрыском в КС водяных паров из КУ не дает нам желаемого результата и оказывается менее эффективным, чем сжигание водорода в воздухе без учета регенерации. В результате термодинамического анализа принципиальной тепловой схемы ТЭУ с использованием уравнения теплового баланса было установлено, что при обеспечении КУ необходимого количества водяного пара, впрыскиваемого в КС, оставшейся теплоты недостаточно для дальнейшего эффективного ее использования в утилизационном контуре.

Уравнение теплового баланса (11):

$$m_{H_2O} \cdot (h_{H_2O} - h_B) = (m_{H_2O} + L_{ПГ}) \cdot (h_{4-Д} - h_{КУ}), \quad (11)$$

где $h_B = 167,54$ кДж/кг – энтальпия воды, которая поступает в КУ при $t=40$ °С;

$h_{КУ}$ – энтальпия оставшегося водяного пара после КУ, кДж/кг.

Выразим энтальпию оставшегося водяного пара после КУ (12) из уравнения теплового баланса:

$$h_{КУ} = h_{4-Д} - \frac{m_{H_2O}}{m_{H_2O} + L_{ПГ}} \cdot (h_{H_2O} - h_B) = 1538,2 \text{ кДж/кг} \quad (12)$$

Температура оставшегося водяного пара на выходе из КУ определяется по i-s диаграмме для воды и водяного пара [7] и составляет $t_{ку} = f(h_{ку}) = 159\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Принципиальная тепловая схема ГТУ «Capstone C200» и параметры рабочего процесса при сжигании 100 % H₂ в O₂ с впрыском в КС водяных паров представлены на рис. 7.

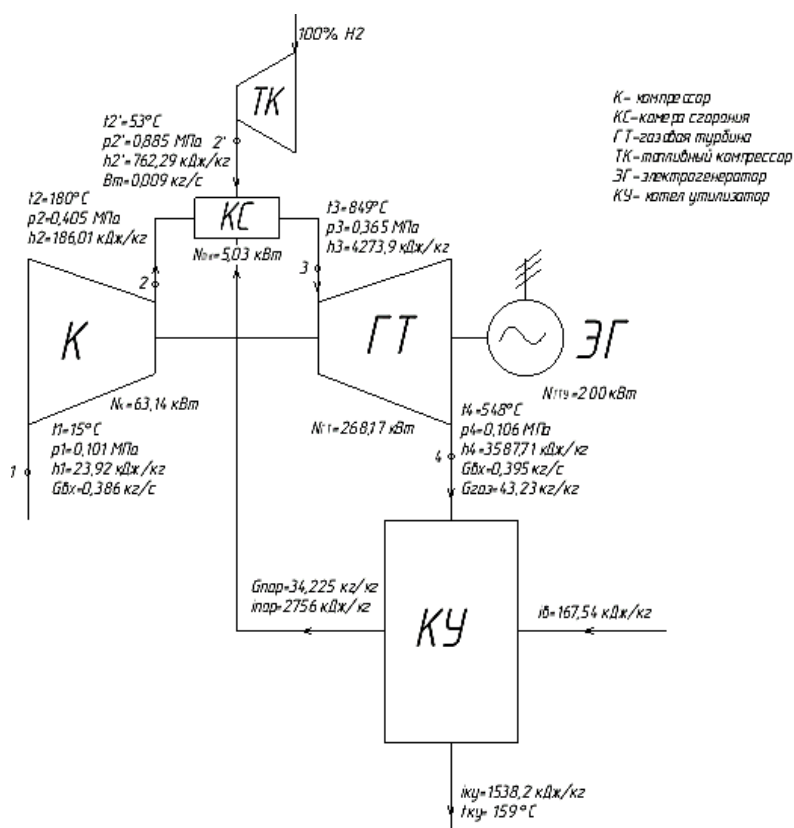


Рис. 7 Принципиальная тепловая схема ГТУ «Capstone C200» и параметры рабочего процесса при сжигании 100% H₂ в O₂ с впрыском в КС водяных паров

Расчеты показателей термодинамической эффективности использования ГТУ в составе ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором с центральным водородно-кислородным пароперегревателем без учета конденсации водяных паров при сжигании 100 % водорода в воздухе без регенерации показали возможность получения достаточного высокого эффективного электрического КПД, соответствующего 42,6 %. Результаты расчетов ПГУ утилизационного типа приведены в табл. 8. Принципиальная тепловая схема ПГУ представлена на рис. 8.

Таблица 8

Результаты расчета параметров ПГУ

Доля водорода в топливе, %	$\theta_{ух_г}$, °C	$\eta_{ку}$, %	Лпт, кВт	Лпн, кВт	Лпту, кВт	Нпту, кВт	Нпгу, кВт	$\eta_{э_пгу}$, %
1	2	3	4	6	7	8	9	10
100	120	0,512	176	0,78	175,2	174,5	374,5	0,432

где $\theta_{ух_г}$ – температура уходящих газов из КУ; $\eta_{ку}$ – КПД КУ; Лпт, Лпн, Лпту – внутренняя мощность ПТ, ПН и ПТУ; Нпту, Нпгу – электрическая мощность ПТУ и ПГУ; $\eta_{э_пгу}$ – электрический КПД ПГУ

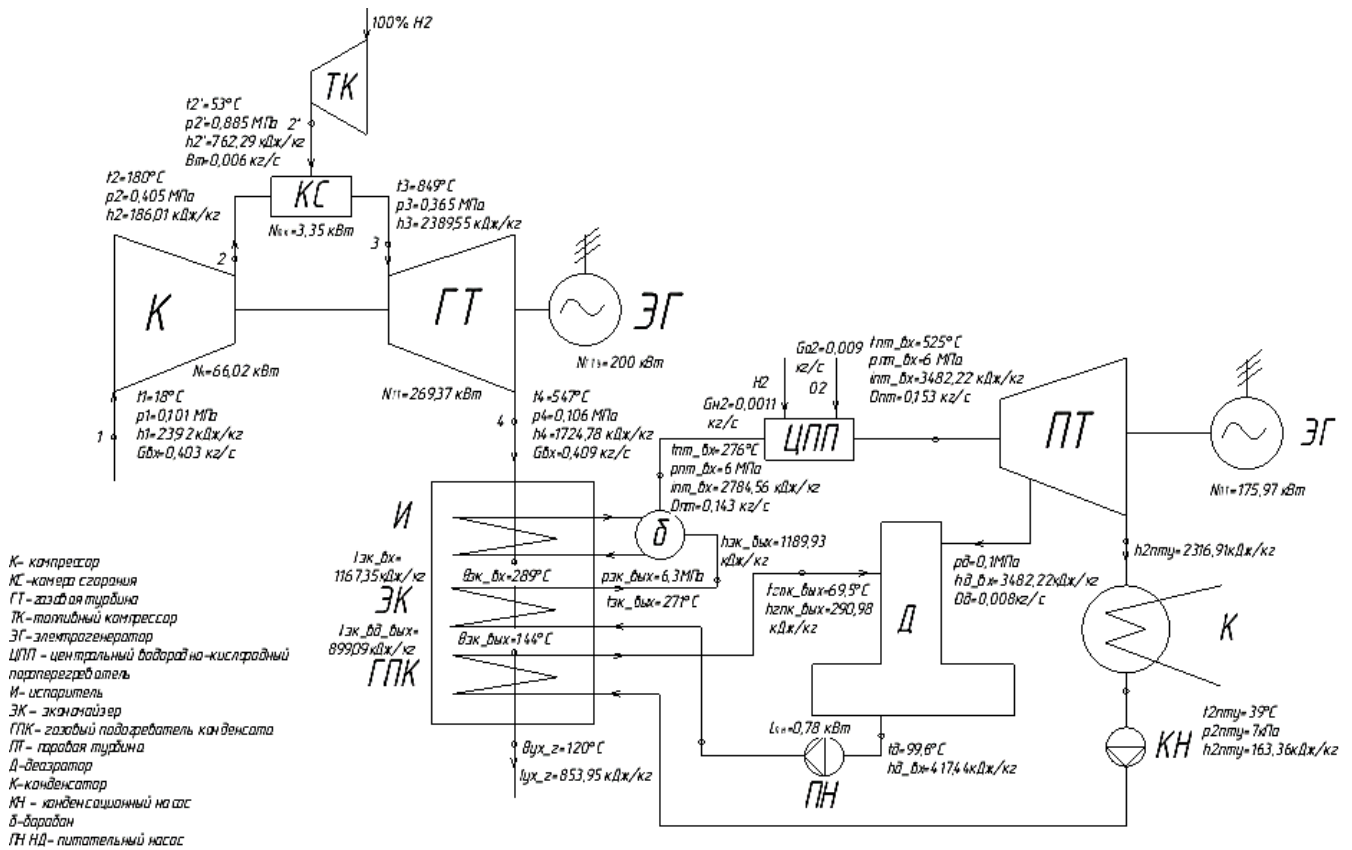


Рис. 8 Принципиальная тепловая схема ПГУ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главным практическим результатом работы является теоретическое обоснование возможности эффективного использования ГТУ в составе ПГУ утилизационного типа при условии максимально возможном содержании H_2O в продуктах горения, что подтверждается расчетным значением эффективного электрического КПД с ГТУ «Capstone C200» на уровне 43,2% и соответствует уровню КПД существующих энергетических ПГУ большой мощности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селин В.В. Теоретические и прикладные аспекты распределенной энергетики Калининградской области на базе местных и возобновляемых топливно-энергетических ресурсов. Примеры разработки инновационных теплоэнергетических технологий и установок / В.В. Селин, С.В. Юрков, Е.А. Беркова // Надёжность и эффективность технических систем: международный сборник научных трудов. – Калининград: Изд-во КГТУ, 2018. – 14 с.
2. Микротурбины Capstone. Технические характеристики [Электронный ресурс]. / Режим доступа: <https://biemtec.ru/specifications>, свободный
3. Вендланд Л. Е., Испытания установки С30 компании Capstone на газовом топливе/ Л. Е. Вендланд, В. Г. Прибылов, Ю. А. Борисов// Научоград: научн. ст. – Москва: Изд-во МГТУ, 2018. – с. 74-79
4. Расчет реальной ГТУ [Электронный ресурс]. / Режим доступа: http://twomas.mpei.ac.ru/mas/Worksheets/orlov/gases/simple_gtu.mcd, свободный.
5. Тепловой расчет котлов (нормативный метод) – 3-е изд., доп. и перераб. – СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
6. Диаграмма $i-s$ для воды и водяного пара.
7. Равич М.Б. Топливо и эффективность его использования/ М.Б. Равич. – М.: Наука, 1971 – 358 с.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF A COMBINED STEAM AND GAS PLANT BASED ON HYDROGEN STIG TECHNOLOGY OF A GAS TURBINE PLANT

¹Yurkov Sergey Valerievich, Associate Professor of the Department of Ship Power Plants and Heat Power Engineering

²Filippova Valeria Mikhailovna, design engineer

¹FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹sergej.yurkov@klgtu.ru

²LLC "KTMP", Kaliningrad, Russia, e-mail: ²fvm@balt-energo.ru

In this article, a numerical simulation of the working process of a gas turbine unit (GTU) "Capstone C200" is carried out using the developed algorithm when operating on fuel with different hydrogen content (from 0 to 100 %), with and without regard to intracycle regeneration, taking into account the thermal dissociation of water vapors and carbon dioxide during the combustion of fuels of variable composition. An assessment was made of the possibility of using the simulated GTU processes in the working process of a binary steam-gas plant (CCGT): a) utilization type with a variable content of water vapor in combustion products; b) utilization type with the technology of direct steam injection into the combustion chamber of a gas turbine (steam injected into a gas turbine - STIG) when burning pure hydrogen in an oxygen atmosphere. The parameters of the combined CCGT unit based on the hydrogen STIG-technology of the GTU have been optimized.

СЕКЦИЯ «ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО»

SECTION "COMMERCIAL FISHING"

УДК 639.2.05

УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ МИРОВЫМ РЫБОЛОВСТВОМ

Долин Геннадий Макарович, канд. техн. наук, профессор кафедры промышленного рыболовства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: dolin@klgtu.ru

В связи с 25-летием принятия ФАО Кодекса ведения ответственного рыболовства подтверждается его актуальность и значимость международных планов действия, разработанных на его основе. Особое внимание уделяется организации международной борьбы с незаконным, несообщаемым и нерегулируемым (ННН) промыслом. Российская Федерация ратифицировала Соглашение ФАО о мерах государства порта и приступила к его реализации.

Выживание около одного миллиарда жителей Земли зависит от объемов мирового вылова рыбы, как основного источника белков. Попытки увеличить вылов за счет увеличения количества рыболовных судов и их мощности, поиска новых районов и объектов промысла не привели к успеху. За последние сорок лет объемы мирового морского промысла стабилизировались на величине около 80 млн тонн. Сейчас среди промысловых объектов фигурируют те объекты, которые ранее считались «мусорными» или кормом для пушных зверей. Районы промысла, ранее считавшиеся удаленными и непригодными для промысла, например, районы открытого моря, арктические и антарктические воды, стали ареной соперничества рыбаков различных стран.

В настоящее время 34,2 процента всех морских видов, запасы которых отслеживает ФАО, облавливаются на биологически неустойчивых уровнях, что втрое больше, чем пятьдесят лет тому назад, когда был начат такой мониторинг [1].

Эти проблемы рыболовства беспокоят мировую общественность и на международном уровне предпринимаются попытки, направленные на урегулирование промысла морских живых организмов. Практически с начала двадцатого века предпринимались попытки создания инструментов эффективного политического и международного сотрудничества в области морепользования. До второй мировой войны эти попытки были не успешными, но указали направление развития и выявили проблемы принятия решений.

Потепление отношений между ведущими мировыми державами после совместной победы над фашизмом позволило создать в 1945 году Организацию Объединенных Наций. Одновременно в рамках ООН была создана ФАО. СССР был одним из учредителей ФАО, но не вступил в неё (ввиду закрытости собственных статистических данных по сельскому хозяйству), с 1987 принимал участие в качестве наблюдателя. РФ вступила в ФАО в 2006; с 2016 в Москве открыто её представительство.

Примером успешной деятельности ООН можно назвать проведение Конференции по морскому праву в 1958 г. В работе по созданию международной конвенции по морскому праву приняли участие делегации от 86 стран. В дальнейшем эта работа продолжалась и завершилась созданием Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. (КМП-82) в рамках III Конференции ООН по морскому праву. О важности этого события говорит то, что некоторые политики и ученые называют этот документ «Конституцией мирового океана».

В указанной конвенции не было разделов, посвященных именно рыболовству. Но общие положения о морских судах распространялись и на рыболовные суда. Дальнейшее развитие требовало создания специфического документа по управлению мировым рыболовством.

Таким принципиально новым, единственным добровольным международным документом в области рыболовства, был принятый Конференцией ФАО в 1995 году, Кодекс ведения ответственного рыболовства (Кодекс) [2].

В Кодексе впервые провозглашены подходы и международные стандартные требования к организации и проведению ответственного экосистемного рыболовства. Предполагается, что такие требования обеспечат надежную долговременную эксплуатацию водных биоресурсов без нанесения вреда экосистемам, с сохранением необходимого биоразнообразия и поддержания мирового рыболовства на высоком уровне.

За прошедшие годы Кодекс не потерял своего значения так как, периодически дополнялся подробными рабочими инструкциями по выполнению решений Кодекса. Все последующие международные документы по организации и контролю устойчивого ведения рыболовства и аквакультуры, международные соглашения, международные планы действий, международные руководящие принципы и стратегии принимались с опорой на Кодекс и в его развитие.

Кодекс, направленный на содействие ответственному подходу к рыболовству и аквакультуре, охватывает практически всю область этой деятельности. Кроме добычи и выращивания водных биоресурсов, он включает обработку и реализацию рыбопродукции (торговлю), маркетинг и финансовые операции.

В документе обращается внимание на значимость рыболовства не только в таких сферах деятельности населения, как пищевая отрасль и экономика, но и таких как социология, экология, культура, наука. Необходимо учитывать интересы всех, кто участвует в рыболовстве, выращивании рыбы и ее обработке, а также ее транспортировке, торговле и потреблении.

В принципе настоящий Кодекс не является обязательным документом. Его исполнение и трактовка допускают добровольность. Но в тексте Кодекса есть ссылки на уже принятые документы международного морского права, например, КМП-82. И такие требования уже являются обязательными.

Из-за этого Кодекс является общемировым документом, а не просто документом для членов ФАО. В основе Кодекса находится обязательное требование к государствам и рыбакам не просто заниматься рыболовством, а проводить его с «ответственным подходом», который позволит сохранять запасы рыбных ресурсов на достаточном уровне.

Как уже отмечено выше, Кодекс создан как базовая структура, на основе которой можно разрабатывать различные международные договоры, соглашения и планы в области рыболовства и аквакультуры. В качестве примера такой деятельности можно привести уже разработанные практические международные планы действия:

- план действий по управлению рыбопромысловыми мощностями;
- план действий по сохранению акул и управлению их ресурсами;
- план действий по сокращению случайного прилова морских птиц при ярусном промысле;
- план действий по предупреждению, сдерживанию и ликвидации незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла.

Перечисленные планы являются рекомендательными руководящими документами, но рыбный комитет ФАО предлагает каждому государству разработать национальные планы реализации планов ФАО и каждые четыре года подводить и сообщать итоги работы.

Кроме изложения общих принципов Кодекс содержит и конкретные тематические статьи. Первая из них об управлении рыболовством требует, чтобы все государства и все участники процесса в рыбном хозяйстве принимали все меры для сохранения на долгое время и экосистемное устойчивое использование водных биоресурсов.

Кодекс предусматривает проведение мероприятий, направленных на достижение следующих целей:

- снижение избыточных добывающих мощностей при сохранении экономической эксплуатации ресурсов;
- создание экономических условий в рыбной отрасли, способствующих ведению экологически ответственного рыболовства;

- содействие заинтересованности не только профессиональных рыбаков, но и тех, кто добывает рыбу для своего пропитания или занимается кустарным рыболовством;
- защита истощенных объектов промысла и сохранение биологического разнообразия морских экосистем и районов промысла;
- снижение отрицательного влияния отходов человеческой деятельности на водные ресурсы;
- проведение и разработка мер по созданию и применению селективных, экологических и экономически выгодных орудий и методов лова.

В следующей статье Кодекса «Промысловые операции» содержатся положения об ответственных промысловых операциях, которые должны проводиться и контролироваться таким образом, чтобы обеспечивать долговременную устойчивость живых морских ресурсов и тем самым вносить существенный вклад в повышение продовольственной и пищевой безопасности, расширение возможностей для трудоустройства и улучшение благосостояния людей наряду с охраной окружающей среды. В данной статье Кодекса говорится о том, что государства, поддерживающие Кодекс, обязаны способствовать поднятию уровня образования всех, участвующих в процессе рыболовства и обработки улова, повышению их профессиональной квалификации. Системы и содержание подготовки должны быть согласованы с международными стандартами и руководствами.

Далее в этой статье перечисляются требования к государствам флага. Все рыболовные суда, ведущие промысел вне территориальных вод, должны иметь обязательные документы и разрешения на ведение промысла. Ответственность за мониторинг промысловой деятельности этих судов и выдачу им разрешительных документов несет государство флага, выдавшее флаг рыбопромысловому судну.

Государство флага должны иметь системы обеспечивающие и контролирующие безопасность и страхование рыболовных судов и членов их экипажей. В соответствии с последними решениями рыбного комитета ФАО, рыболовные суда и все орудия лова должны иметь обязательную маркировку по международным или национальным правилам.

К обязанностям государств порта Кодекс в этой статье относит должное проведение досмотра всех промысловых судов при заходе в порт. Проверка должна подтвердить, что судно занималось ответственным и законным промыслом. Любой порт должен обеспечить промысловое судно и его экипаж безопасным убежищем без допущения дискриминаций.

При контроле промысловых операций государство порта должны моральными и материальными мерами способствовать применению новых технологий экологичного, селективного промысла и обработки улова, которые уменьшают выброс рыбы за борт и потерю орудий лова.

Собственно, промысловым операциям, в данной статье, уделяется особое внимание. Кодекс обращает внимание государств на то, что для достоверной оценки запасов объектов промысла в промысловой документации необходимо отражать не только промысловые операции и размер находящегося на борту улова, но и информацию о выброшенной за борт рыбе.

Государства должны обеспечить применение достаточно селективных орудий рыболовства и соответствующих технологий промысла и их практической реализации.

Эти меры должны привести к максимальному снижению промысловых потерь, таких как отходы, выброс рыбы за борт, прилов рыбы и нерыбных объектов промысла, например, акулы, черепахи, морские животные и т.д. Этих результатов государства должны добиваться не только техническими средствами, но и вовлечением рыбаков в экологическое движение и участие в разработке селективных орудий и методов лова.

Далее в этой статье даются рекомендации об оптимизации энергопотребления в рыбохозяйственной отрасли, защите водной среды и атмосферы, а также приведены требования к строительству и содержанию портов и причалов для рыболовных судов.

В статье Кодекса «Развитие аквакультуры» государствам предлагается содействовать ответственному развитию и управлению аквакультурой. При этом важно сохранять природное генетическое разнообразие объектов промысла и обеспечивать сохранность экосистем. Необходимо всячески снижать возможность контакта рыбы, ушедшей из искусственных садков, с объектами естественной популяции и последующие возможные отрицательные влияния на них.

В статье Кодекса о включении рыболовства в прибрежное управление указывается, что «государствам надлежит обеспечивать разработку соответствующей политики и создание правовой и

институциональной структуры для достижения устойчивого и комплексного использования ресурсов с учетом хрупкости прибрежных экосистем, ограниченности их природных ресурсов и нужд местных общин» [2]. В этом требования Кодекса актуальны и для Российской Федерации, учитывая то, что на Дальнем Востоке добывается более 70% рыбы, а население не превышает 6%. «Государствам надлежит содействовать многопрофильным научным исследованиям в поддержку прибрежного управления, особенно в области его экологических, биологических, экономических, социальных, правовых и институциональных аспектов» [2].

Статья Кодекса о практике использования уловов и торговле предлагает государствам способствовать большему употреблению рыбы в пищу своими гражданами. При этом нужно обеспечить безопасное качество и полезность для здоровья рыбных продуктов.

Государства должны поощрять действия рыбопереработчиков которые направлены: на минимизацию потерь после промысла и отходов после обработки, на более полное использование прилова, на экономное потребление воды и энергии, а также древесины. Государствам рекомендуется содействовать производству продуктов с добавленной стоимостью. Эти меры, и в частности для России, приводят к повышению экономических показателей отрасли, снижению логистических затрат и, как следствие, к социально-экономической поддержке местного населения. Кодекс призывает не вводить национальные требования, препятствующие развитию международной торговли рыбопродукцией, но при этом не допускать на торговые прилавки рыбу, полученную из истощенных запасов или путем незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла.

В завершающей статье Кодекса «Научные рыбохозяйственные исследования» государства обязываются проводить широкие научные исследования по всей проблематике рыбного хозяйства, включая биологию, экологию, экономику, социологию, технологию рыболовства и аквакультуры. Предпочтительно разработать единообразные методические руководства по проведению морских рыбохозяйственных научных исследований.

Прошло 25 лет с момента создания Кодекса, но он до сих пор является актуальным рабочим документом. На его базе продолжают разрабатывать международные документы по устойчивому ведению рыболовства и аквакультуры и составленные в форме международных соглашений, международных планов действий, международных руководящих принципов и стратегий. Примером такого документа может быть Соглашение ФАО о мерах государства порта (СМГП) 2009 года, которое основано на положениях статьи 8.3 Кодекса «Обязанности государств порта» [4]. Это соглашение является первым международным юридически обязывающим документом по борьбе с незаконным, несообщаемым и нерегулируемым (ННН) промыслом. К СМГП, вступившему в силу в 2016 году, присоединилось значительное число государств. Государственная дума Российской Федерации 17 ноября 2020 года одобрила законопроект «О ратификации Соглашения о мерах государства порта по предупреждению, сдерживанию и ликвидации незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла».



Рис. Руководитель Федерального агентства по рыболовству Илья Шестаков выступает перед Государственной Думой

Специалисты ФАО отмечают, что, несмотря на достигнутые успехи «им приходится сталкиваться с препятствиями и вызовами. За последнее десятилетие наиболее серьезные затруднения были связаны с нехваткой бюджетных и кадровых ресурсов, за которой следуют незавершенность политических и/или правовых механизмов, а также неадекватный уровень научных исследований, статистических данных и доступности информации» [3].

Это как раз те проблемы, решением которых должна заниматься система вузов рыбной отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФАО. 2020. Состояние мирового рыболовства и аквакультуры – 2020. Меры по повышению устойчивости. Рим.// Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://doi.org/10.4060/ca9229ru>. (дата обращения 01.07.2021).

2. ФАО. 1995. Кодекс ведения ответственного рыболовства. Рим. // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://www.fao.org/publications/card/ru/c/b9c07bc8-a18a-54d6-a055-679475ac5770>. (дата обращения 01.07.2021).

3. ФАО. 2021. Осуществление кодекса ведения ответственного рыболовства. Рим. // Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://www.fao.org/documents/card/ru/c/cb2990ru>. (дата обращения 01.07.2021).

4. ФАО. 2016. Соглашение о мерах государства порта по предупреждению, сдерживанию и ликвидации незаконного, несообщаемого и нерегулируемого промысла. Рим.// Электрон. дан. Режим доступа URL: <http://www.fao.org/3/i5469r/I5469R.pdf>. (дата обращения 01.07.2021).

SUSTAINABLE MANAGEMENT OF WORLD FISHERIES

Dolin Gennadii, candidate of technical sciences, associate Professor of the Department of commercial fisheries

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia, e-mail:dolin@klgtu.ru

On the 25th anniversary of FAO's adoption of the Code for Responsible Fisheries, its relevance and importance of the international action plans developed on its basis are confirmed. Particular attention is paid to the international organization against illegal, unreported and unregulated (INN) fishing. The Russian Federation has ratified the FAO Agreement on the port state's measures and has begun its implementation.

УДК 304.444

ПУТИ СОЦИАЛИЗАЦИИ БИЗНЕСА В РЫБНОЙ ОТРАСЛИ

Долина Валентина Михайловна, канд. пед. наук, доцент кафедры промышленного рыболовства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: valentina.dolina@tklgtu.ru

Рыночные отношения требуют от предпринимательства новых подходов в решении многих проблем общества. Сегодня наиболее остро стоит решение социальных проблем в рыбной отрасли. Цель данного исследования – определить пути социализации бизнеса на современном этапе в различных коммерческих структурах. В рыбной отрасли, как и во всём бизнесе, можно выделить вер-

тикально интегрированные корпорации крупных коммерческих предприятий и горизонтально интегрированные кооперации предприятий малого и среднего бизнеса. Социальная значимость малого бизнеса в рыбной отрасли усиливается его массовостью.

Сегодня Россия, страна с огромными запасами водных биологических ресурсов, занимает достойное место в десятке крупнейших рыболовных государств мира. Объём вылова морской и океанической рыбы постепенно растёт и в 2020-м году составил 4 млн 971 тыс. т., в то же время роль аквакультуры в нашей стране пока незначительна.

Главной задачей предпринимательства, в том числе в рыбной отрасли, является решение стратегически важного вопроса: удовлетворение практически неограниченных потребностей населения в белковой пище при ограниченных ресурсах; получение прибыли на основе сокращения издержек производства, сохраняя при этом или преумножая рентабельность своего коммерческого предприятия. Понимая важность усиления ресурсной базы, руководством отрасли при поддержке государства планируется к 2025 году построить около ста новых рыболовных судов с современным технологическим оборудованием.

В то же время рыбная отрасль выполняет не только экономическую функцию по укреплению пищевого производства страны в целом, увеличивая добычу рыбных и нерыбных объектов, расширяя свою сырьевую базу и географию промысла, но и важнейшую социальную функцию, которая заключается в производстве для общества ценнейших белковых продуктов, необходимость потребления которых ставится под жёсткий контроль органов здравоохранения как в нашей стране, так и во всём мире. Нельзя забывать, что рыба, рыбные продукты и нерыбные объекты морского и океанического промысла являются богатейшим источником целого ряда необходимых человеку пищевых веществ: полноценных легкоусвояемых протеинов и липидов, витаминов и минеральных элементов.

В мясе рыбы содержатся простые полноценные белки, которые включают все незаменимые аминокислоты, в том числе те, которые человеческий организм самостоятельно вырабатывать не может, но которые очень важны для организма человека. Биологическая ценность жира рыб обуславливается наличием в них непредельных жирных кислот, которые также не синтезируются в организме человека самостоятельно. Они привносятся в организм человека вместе с рыбой, особенно жирных видов рыбы. В рыбе огромное количество микроэлементов: кальция, магния, фтора, селена, меди, цинка, фосфора. В больших количествах в морской рыбе содержится йод, который требуется для нормальной работы щитовидной железы. Красная рыба и некоторые морепродукты (креветки, устрицы) богаты железом. Употребляя качественную свежую рыбу, мы гарантированно получаем большое количество витаминов А, Е, группы В, в частности, необходимого для нервной системы витамина В₁₂. Витамины, содержащиеся в рыбе и морепродуктах, улучшают обмен веществ, укрепляют иммунитет, снижают риск онкологических заболеваний и помогают клеткам нашей кожи удерживать влагу и сохранять здоровый вид [1].

Недостаточное использование рыбы и других объектов морского промысла в пищу отрицательно сказывается на здоровье общества в целом, и это придаёт деятельности рыбной отрасли особую социальную значимость.

Утверждённая медициной норма не должны быть ниже 23,5 кг на одного человека, однако, согласно опубликованному докладу ФАО, глобальное потребление рыбы на душу населения в настоящее время впервые в истории чуть-чуть превысило 20 кг в год.

В соответствии со Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса РФ до 2030 года, потребление рыбы на душу населения в России должно вырасти до 22-27 кг в год [3].

Таким образом, рыбная отрасль выполняет важнейшую социальную задачу государства – поддержание здоровья граждан России.

Вместе с этим, развитие рыночных отношений возлагает на предпринимательство решение множества других социальных проблем, которые играют решающую роль в общественной жизни любого государства. В рыбной отрасли одновременно решаются такие важнейших социальных задачи, как:

- обеспечение продовольственной безопасности государства посредством качественной рыбной продукции по доступным для населения ценам;
- создание новых рабочих мест;

- сохранение и закрепление населения на удалённых прибрежных территориях и их социально-экономическое развитие;
- создании культурных условий для развития гражданского общества и формировании среднего класса.

Согласно Стратегии развития - 30, «структура рабочих мест РХК будет меняться в пользу берега, что соответствует современным глобальным тенденциям. При этом рабочие места будут более технологичными, условия труда более комфортными» [3].

На данный момент ещё значительная доля россиян, сформировавшихся при социалистическом строе, ориентируется на стереотип, при котором государственные структуры берут на себя решение многих проблем в социальной сфере. Понимание того, что в рыночных отношениях многие функции государства, особенно это касается социальных вопросов, естественным образом переходят к предпринимательству, и вектор этих направлений с каждым годом расширяется, пришло не сразу. По существу, оно пока ещё входит в наше сознание, вызывая у кого-то удивление, а у кого-то твёрдое убеждение в том, что так и должна строиться современная экономика.

Однако ситуация год от года меняется. По заключению исследовательской группы ЦИРКОН, «граждане стали заметно чаще, чем несколько лет назад, допускать разделение ответственности за социальную сферу между государственными и негосударственными структурами» [2]. Более того, направления предпринимательской деятельности, охватывающие социальную сферу, с каждым годом становятся всё более популярными.

По мнению специалистов, в мире бизнеса сегодня главенствуют два основных тренда - вертикально интегрированные корпорации коммерческих структур крупного бизнеса и горизонтально интегрированные кооперации предприятий малого и среднего бизнеса. Прямым образом это относится и к рыбной отрасли [2].

Целью, как одной, так и другой группы предпринимателей, является максимальное извлечение прибыли на рынке посредством использования преимуществ своих организационных структур. Вместе с тем, обе бизнес-группы выполняют ряд функций, целиком относящихся к социальной сфере.

Следует отметить, что тренд, активно набирающий обороты в мире, – это горизонтальная кооперация, которая включает в себя организации малого и среднего бизнеса и выполняет ряд социальных задач, обозначенных государством, уже непосредственно своим существованием.

Социальная значимость малого бизнеса в рыбной отрасли определяется массовостью группы мелких собственников как в добывающей и производственной сферах, так и в сфере торговли - владельцев малых предприятий, а также их наёмных работников, общая численность которых составляет основу экономики любого государства. Именно эта группа деятельного населения обслуживает основную массу потребителей, производя комплекс продуктов и услуг в соответствии с быстро меняющимися требованиями рынка.

Кроме всего прочего, на малом бизнесе сегодня лежит важнейшая для общества социальная функция: он создаёт рабочие места для социально незащищённых групп населения: пенсионеров, людей с инвалидностью, студентов на подработке, многодетных матерей и матерей-одиночек. При этом решается одна из главных социальных проблем – проблема занятости населения. Если опираться на Стратегию-30, количество запланированных современных предприятий по переработке рыбного сырья позволит создать к 2030 году 25 тысяч новых рабочих мест местному населению [3].

Развитие малого предпринимательства способствует постепенному созданию среднего класса, то есть прослойки более состоятельных собственников, самостоятельно обеспечивающих собственное благосостояние и более качественный уровень жизни, выполняющих при этом свою социальную роль. Малый и средний бизнес совместно выполняют важнейшую градо- и посёлкообразующую функцию.

По своей структуре рыбная отрасль сегодня – это пирамида, на вершине которой находятся крупные компании - вертикально интегрированные корпорации коммерческих структур крупного бизнеса. Они имеют серьёзный вес, монополизируя в своих руках основные ресурсы и выполняя при этом свои социальные задачи. Для крупных корпораций это: обеспечение высокого качества жизни своих сотрудников: высокая оплата труда, безопасные и тщательно продуманные условия труда и отдыха своих работников, создание базы профилактических мероприятий для поддержания их здоровья, организация специализированных детских садов и школ для детей сотрудников и пр.

Отдельную статью составляет благотворительность, которую сегодня осуществляют многие крупные корпорации. Особенно большую благотворительную деятельность ведут Газпром и Росатом, лидеры крупного бизнеса.

Судьбу и политику рыбной отрасли России в настоящее время решают такие крупные объединения, как ВАРПЭ, Рыбный Союз, АДМ. В их состав входят промысловики, перерабатывающие предприятия, включая холодильники, аквакультура, отраслевая внутренняя и внешняя торговля. Решая свои задачи, они работают, в основном, «на себя», попутно решая отдельные вопросы малого и среднего бизнеса, на плечах которого они стоят.

Назрела необходимость создания отраслевой организации, которая бы объединила представителей малого, среднего и крупного бизнеса в рыбной промышленности, укрепив их положение на рынке, позволила бы получать необходимую защиту и реальную помощь, связанную с улучшением их деятельности на отраслевом рынке, стала бы связующим звеном в диалоге с властью, что помогло бы изменить положение отрасли в лучшую сторону.

Планируется, что развитие рыбной отрасли и защита интересов малого и среднего бизнеса в этой сфере станет основной задачей, вновь созданной общероссийской общественной организации предпринимательства «ОПОРА РОССИИ» во главе с комитетом по рыбохозяйственному комплексу, первое организационное заседание которого состоялось 25 марта 2021 г.

Председателем комитета утверждён президент ВАРПЭ, член президиума НП «ОПОРА» Герман Зверев. Остаётся надеяться, что данная организация сумеет объединить силы разных ступеней бизнеса для успешного решения стоящих перед ними задач. Насколько действенным окажется такое назначение, покажет время.

Слабым звеном в становлении отрасли остаётся законодательство рыбной отрасли, которое в последнее время проявляет свою полную несостоятельность, постоянно изменяя правовую базу, в том числе квотирование, перераспределяя узаконенные квоты и т.д.

За рубежом развитие правовой базы социального направления предпринимательства идёт намного интенсивнее. Там поддерживаемое государством социальное предпринимательство расширяет рамки своего влияния: социальные предприятия и социальный бизнес в целом имеют свои преференции, вектор которых год от года увеличивается. Прогрессивная часть общества понимает, что будущее именно за социальным направлением бизнеса, где получение прибыли тесно связано с социальной и экологической ответственностью. За данным направлением – будущее всей цивилизации.

И в нашей стране коммерческие предприятия, выполняющие социальные задачи пищевой национальной безопасности, также должны иметь поддержку государства в виде сохранения закреплённого за ними ресурса в виде квот, рыболовных участков, пакета льгот по ставке налогов за пользование ресурсами, и дешёвых социальных целевых кредитов.

И хотя оба тренда - и вертикальные корпорации, и горизонтальные кооперации развиваются параллельно, по мнению отдельных учёных, имеющиеся предпосылки и логика подсказывают, что будущее за кооперациями.

В настоящее время рыбодобывающая отрасль является важнейшим источником дохода в местные и региональные бюджеты, условием выживания и будущего развития экономики многих прибрежных регионов. По-прежнему ведущим в рыбной отрасли остаётся Дальний Восток, добывающий и перерабатывающий более 2/3 всей российской рыбопродукции.

Экспорт рыбной продукции за 2020 г. составил 2 млн 237 тыс. т, в денежном выражении это - 5 млрд 287 млн долл. США. Рыбная продукция, например, только Дальнего Востока идёт на экспорт более чем в 20 стран. Основные покупатели российской дикой рыбы - Китай и Южная Корея, Нидерланды. Основу экспорта составляет мороженный минтай, треска, пикша, сельдь и, конечно же, такие валютоёмкие виды, как крабы и креветка. Нацпроектом по развитию экспорта к 2024 году задана планка в 8,5 млрд долларов. Бесспорно, уровень внешней торговли для экономики рыбной отрасли сегодня высок, но доход нашей страны мог бы быть значительно выше.

Суть этого заявления заключается в том, что за рубеж, в основном, вывозится рыба свежая или мороженная с низкой степенью переработки и малой величиной добавленной стоимости, то есть по самым низким ценам самое высококачественное сырьё, а в Россию ввозятся рыбопродукты с высокой добавленной стоимостью (часто из российского же сырья). Результатом является упущенная выгода в размере 30-40 млрд. руб. в год.

Опыт работы с иностранными партнёрами показывает, что зарубежные компании заинтересованы в сохранении сырьевой направленности нашего государства. Создание компаний со смешанным российско-иностраным капиталом также закрепляет экономическое положение российской рыбной отрасли как поставщика первичного сырья из рыбы и морепродуктов для традиционных стран-импортёров с развитой рыбообработывающей промышленностью, которые заинтересованы в приобретении нашего сырья и в сохранении сложившейся экспортной ситуации.

Кроме того, экспортная торговля тормозит развитие регионов в экономическом плане, поскольку сокращается количество перерабатывающих судов, теряются и разрушаются береговые отечественные производственные мощности, увеличивается отток населения с уже экономически освоенных географических пространств. Сырьевая направленность отрасли снижает уровень производства в национальном рыбном хозяйстве.

Растущий экспорт дикой рыбы создаёт ещё одну социальную проблему для россиян: на российский рынок вместо дикой и ценной в пищевом отношении рыбы поступает менее ценная искусственно выращенная и более дешёвая рыба, что определённым образом отражается на здоровье населения.

Сложившаяся ситуация заставила руководство нашей страны взглянуть на проблемы отрасли под иным углом, пришло понимание того, что только глубокая переработка рыбы может стать основой создания собственной сильной перерабатывающей промышленности с высокой добавленной стоимостью.

Есть ли альтернатива монополизации крупного бизнеса? Опыт зарубежных стран убедительно доказывает, что такой альтернативой могут стать кооперативы, которые и создают небольшую по объёму, но весьма мощную заслонку на пути монополистическим объединениям отрасли. Эта заслонка есть то, что мы называем горизонтальной кооперацией.

Оптимальной формой современного предпринимательства можно считать сельхозкооператив, где прибыль распределяется не между несколькими акционерами, как это происходит в холдингах и акционерных обществах, то есть в самых крупных вертикально-интегрированных компаниях, а иначе – между членами кооператива (колхоза) с учётом личного трудового участия каждого. Это и есть тот самый принцип, когда каждый несёт ответственность за результат своей деятельности и таким образом складывается общий результат. Развитие кооперативов будет основываться на социальном принципе. Появятся свои социальные программы как источник дополнительных нематериальных активов для повышения эффективности отраслевых коммерческих предприятий.

Рыболовецкие кооперативы могут в дальнейшем стать основой социального направления предпринимательства в отрасли.

В России с советских времён сохранился Союз рыболовецких колхозов (Росрыбколхозсоюз), который является старейшим отраслевым объединением в нашей стране. История отечественной колхозной системы берёт начало в 1929-1930 гг. Рыболовецкие колхозы прошли Великую Отечественную войну и внесли свой огромный вклад в Победу, в продовольственное снабжение фронта и населения. В 1991 году колхозная система давала стране порядка 1млн 837 тыс. тонн уловов, в 1998-м улов сократился более чем на 50% и составлял 966 тыс. тонн. Сегодня организации Росрыбколхозсоюза ведут свою хозяйственную деятельность в 5-ти бассейнах: Западном, Северном, Волжско-Каспийском, Дальневосточном и Черноморском и вылавливают около 300 тыс. т водных биоресурсов [2].

Рыболовецкие колхозы, или как их часто называют «артели», согласно главе 1 № 193-ФЗ «О сельскохозяйственной кооперации», являются сельхозтоваропроизводителями. В 2020 году Рыбакколхозсоюз отметил 35 лет. Сегодня предприятия Союза являются многоотраслевыми хозяйствами, занимающимися промыслом рыбы и морепродуктов, выпуском рыбной и сельскохозяйственной продукции, производством товаров народного потребления и оказанием услуг населению. Помимо этого, содержат объекты социально-бытовой инфраструктуры поселков и обеспечивают трудовую деятельность проживающего там населения.

В Росрыбколхозсоюз входят 7 региональных союзов, одна ассоциация. Система объединяет 65 рыбопромышленных предприятий с разными формами ведения рыбохозяйственной деятельности малого и среднего предпринимательства. 60% (39) рыболовецких артелей (колхозов) расположены, в основном, в районах Крайнего Севера и районах, приравненных к ним. Система рыболовецких колхозов является хорошей исторической основой для формирования сектора социального

предпринимательства в отрасли. Основное отличие агрокооперации - это объединение в первую очередь работников, а не капиталов, для удовлетворения как материальных, так и социальных потребностей членов кооператива при помощи демократического управления-один член кооператива-один голос. Данная система объединяет «исторический принцип» в его исконном значении, отношения к собственности, труду и управлению на основе самодостаточности и социальной справедливости [2].

Реализация региональных программ в сфере решения социальных проблем рыбной отрасли предполагает:

- разработку критерия социального направления в рыбной отрасли, который включают в себя занятость местного населения через строительство новых рыбообрабатывающих предприятий, включая холодильники.

- территориальное размещение новых предприятий с учётом удалённой территории побережья, инвестиции в создание местной инфраструктуры;

- учет исторических российских традиций;

- увеличение поставки свежей или охлаждённой продукции на местные рынки.

По мнению экспертов, основная масса рыбопродукции производится на небольших предприятиях, поэтому малый и средний бизнес чрезвычайно важен для агрокомплекса.

В то же время именно сочетание этой горизонтали и вертикальной интеграции крупных корпораций обеспечивает высокий уровень национальной безопасности и устойчивое развитие экономики государства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Химический состав и пищевая ценность рыбы. https://studopedia.ru/13_20518_himicheskiy-sostav-i-pishchevaaya-tsennost-ribi.html

2. Социальное предпринимательство в рыбной отрасли. Каким оно будет? <https://inform-24.com/19831-socialnoe-predprinimatelstvo-v-rybnoj-otrasli-kakim-ono-budet.html>

3. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Материалы Международного рыбопромышленного форума, сент. 2017 // <https://roscongress.org/news/na-mrf-2017-predstavili-strategiyu-razvitiya-rybohozyajstvennogo-kompleksa-rossii-wp/>

WAYS TO SOCIALIZE BUSINESS IN THE FISHING INDUSTRY

Valentina Dolina, Ph.D., assistant Professor of the Department of commercial fisheries

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: valentina.dolina@klgtu.ru

Market relations require entrepreneurship to take new approaches to many of society's problems. Today, the solution of social problems in the fishing industry is most acute. The purpose of this study is to determine ways to socialize business at the present stage in various commercial structures.

In the fishing industry, as in all business, we can distinguish vertically integrated corporations of large commercial enterprises and horizontally integrated cooperation of small and medium-sized businesses.

The social importance of small businesses in the fishing industry is enhanced by its massiveness.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ШНУРОВ, ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

¹Коновалова Карина Витальевна, магистр

²Недоступ Александр Алексеевич, доцент, канд. техн. наук

³Ражев Алексей Олегович, мл. науч. сотрудник, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹karina.konovalova@klgtu.ru; ²nedostup@klgtu.ru;
³progacpp@live.ru

Рассмотрена проблема проектирования синтетических шнуров, применяемых в промышленном рыболовстве. Она требует разработки программного продукта, дающего возможность предвидеть физико-механические свойства синтетических канатно-сетных материалов в виде шнуров на этапе проектирования.

Предложен метод получения экспериментальных данных для дальнейшей верификации разрабатываемого программного продукта.

Введение

Орудия рыболовства представляют собой наиболее сложные инженерные сооружения, состоящие из нитевидных изделий: нитки, веревки, шнуры и канаты.

В сфере промышленного рыболовства шнуры изначально использовались в качестве по-жил и подбор, но в настоящее время они повсеместно стали применяться в виде ваеров и других элементов оснастки, а из шнуров малых диаметров изготавливаются сетные полотна.

Главными свойствами, из-за которых, возрастает их применение в сфере промышленного рыболовства являются: гибкость, равновесность, высокая износостойкость, а также шнуры показывают более высокую прочность по сравнению с кручеными изделиями. Необходимо отметить, что «строительные материалы» с точки зрения механики представляют собой гибкие нити и определяют одно из главных отличий сетных орудий - это отсутствие постоянной формы, гибкость конструкции.

Многие ученые занимались решением задачи механики нити: Фридман А.Л., Герман, Б.И., Стрекалова В.Н. [1-2], М.М. Розенштейн, [3], Недоступ А.А. и Ражев А.О. [4-5]. Их изыскания нашли применение в расчете урезов, ваеров.

Также исключительно важный вклад в развитие рыболовства внесли иностранные ученые: LeeW. Chun [6], также Wienbeck, W. Moderhak [7].

Но несмотря на углубленное изучение и большое разнообразие методик представленных в научных трудах для расчета и оценки гибких нитей они обычно, используются для решения частных задач, не связанных между собой.

Одна из причин – это не хватка исследований поперечной и изгибной жесткости, а также отсутствие экспериментальных данных для изделий из синтетического сырья. Например, в статьях [1,2] А.Л. Фридман, изучая процесс динамического подбора, неоднократно поднимает вопрос о проведении опытов по экспериментальному изучению изгибной жесткости (ЕJ).

С развитием химической промышленности, позволяющей создавать более практичные материалы, исследования EJ становятся актуальными, для ее определения, на данный момент используют вариационные методы и Методы конечных элементов.

Требуется отметить, что сама по себе процедура производства шнуров – это крайне сложный технологический процесс со множеством этапов [8-9].

Для решения данной проблемы встал вопрос о разработке программного продукта, дающего возможность предвидеть основные физико-механические свойства (ФМС) в динамике синтетических шнуров.

Внедрение системы автоматизированного проектирования (САПР) в сферу промышленного рыболовства определяется возможностью формализации и алгоритмизации задач, характерных для данной области.

Главная задача САПР заключается в том, чтобы уменьшить время на изготовление и число прототипов изделия за счет автоматизации процесса, но существующие программы не способны обеспечить интеллектуальную поддержку проектировщику, которому требуется разработать изделие с подходящими характеристиками, что значительно осложняет процесс. Это связано с тем, что нужно знать характеристики гидробионтов, судно, где и в каких условиях будет происходить лов.

При проектировании орудий, разработчикам необходимо изучить поведение и закономерности действующие на рассматриваемый объект в процессе изготовления, что практически невозможно путем эксперимента с натурным объектом. В этих случаях, применяют – моделирование. При построении модели, выделяют специфические особенности объекта и допускают его математическое построение.

Возможность формирования такой модели способствует опережению отражения действительности, такой подход позволяет не только наблюдать, но и предсказывать результаты экспериментов.

Следовательно, необходимо разработать узко направленный программный продукт, в котором будут заключены математические зависимости ФМС шнуров.

Постановка задачи

В первую очередь разрабатываемый программный продукт, конечно же, должен решать поставленные задачи и выполнять свои функции. Для осуществления проекта необходимо провести: ряд натуральных и модельных экспериментов для изучения ФМС шнуров, связанных с физическим моделированием динамических процессов. Построить математическую модель описывающую, изменение происходящие в шнурах.

На данном этапе перед нами стоит задача - анализ и экспериментальные исследования ФМС шнуров, в частности изучение изгибной жесткости изделий, применяемых в промышленном рыболовстве.

Деформационные свойства шнуров, как и любого другого материала, характеризуются понятием «жесткость». Влияние межэлементного трения на показатели жесткости изделия являются косвенными. Трение влияет на внутреннее деформированное состояние шнура, поэтому изменяется удельная потенциальная энергия упругой деформации. Таким образом, «жесткость», в том числе и изгибная, определяется непосредственно только упругой деформацией элементов.

EJ - интегральная характеристика упругих сопротивлений и сухого трения скольжения в изделии, где J – момент инерции сечения, E – модуль упругости изделия. Момент сопротивления изгибу, пропорционален кривизне, как и момент упругих сопротивлений.

Испытание на изгиб одно из эффективных способов экспериментального определения изгибной жесткости. Для экспериментального исследования EJ синтетических шнуров, мы воспользовались методикой, изложенной в магистерской диссертации «Теоретические и экспериментальные исследования физико-механических свойств нитевидно-веревочных изделий и шнуров», выполненной в 2021 г.

В качестве экспериментальной задачи попытаемся оценить изгибную жесткость синтетических шнуров из полипропилена (ПП), полиамида (ПА) и полиэфира (ПЭФ) длиной 0,10; системы 0,12; закупочной 0,16; 0,20 распределением и конечный 0,24 обеспечивающие м, диаметром 2,0; 3,0; 4,0 мм.

**Экспериментальные значения изгибной жесткости шнуров из полипропилена,
полиамида и полиэфира**

Образец	Длина, м	Масса, г	EJ, Нм ²	Образец	Длина, м	Масса, г	EJ, Нм ²	Образец	Длина, м	Масса, г	EJ, Нм ²
ПП d=2мм	0,1	0,17	0,00102	ПЭФ d=2мм	0,1	0,17	-	ПА d=2мм	0,1	0,17	0,00103
	0,12	0,21	0,00058		0,12	0,2	0,00138		0,12	0,21	0,00060
	0,16	0,28	0,00068		0,16	0,26	0,0018		0,16	0,27	0,00055
	0,2	0,34	0,00126		0,2	0,33	0,00236		0,2	0,34	0,00107
	0,24	0,41	0,057		0,24	0,4	0,0024		0,24	0,4	0,00179
ПП d=3мм	0,1	0,34	0,00138	ПЭФ d=3мм	0,1	0,32	-	ПА d=3мм	0,1	0,35	0,01895
	0,12	0,41	0,00288		0,12	0,38	0,00476		0,12	0,43	0,01310
	0,16	0,55	0,00320		0,16	0,52	0,00414		0,16	0,57	0,00225
	0,2	0,67	0,00424		0,2	0,62	0,00336		0,2	0,7	0,00245
	0,24	0,83	0,00683		0,24	0,77	0,006		0,24	0,86	0,00470
ПП d=4мм	0,1	0,52	0,00335	ПЭФ d=4мм	0,1	0,51	-	ПА d=4мм	0,1	0,68	0,00126
	0,12	0,62	0,0067		0,12	0,62	0,00319		0,12	0,84	0,00185
	0,16	0,83	0,0072		0,16	0,82	0,00294		0,16	1,13	0,00305
	0,2	1,02	0,01016		0,2	1,04	0,00373		0,2	1,37	0,00394
	0,24	1,26	0,00977		0,24	1,26	0,00653		0,24	1,67	0,07

Целесообразно отметить, что некоторые образцы только при малых длинах, а также при увеличении диаметра штыря практически не поддаются изгибу. Экспериментальные значения EJ Нм², зависимости - f(d/l), нанесены на координатные плоскости (рис. 1–2).

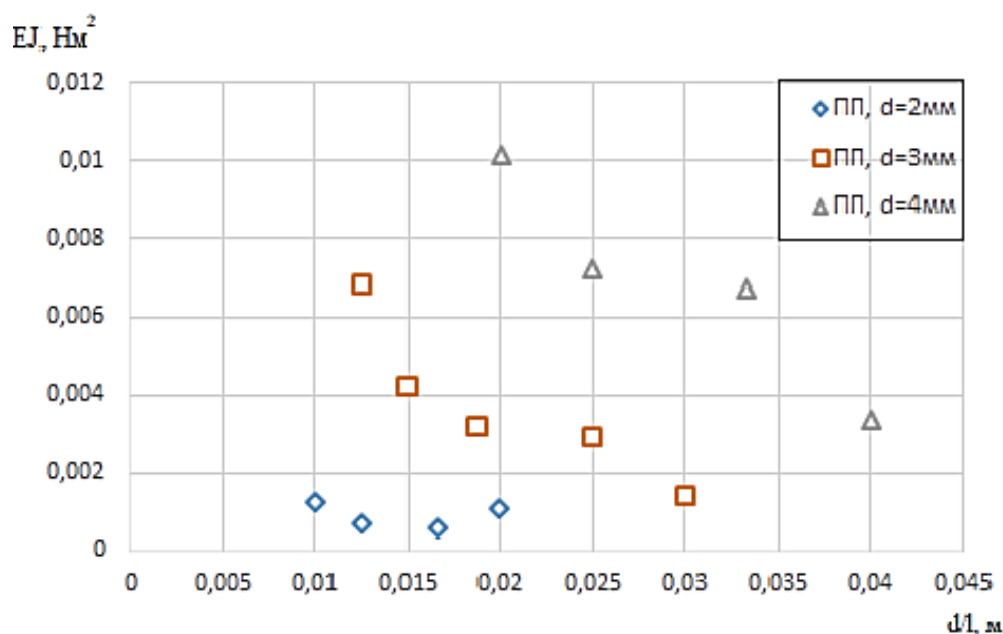


Рисунок 1 – Экспериментальные значения EJ = f(d/l), при D=2 мм, сырье - ПП

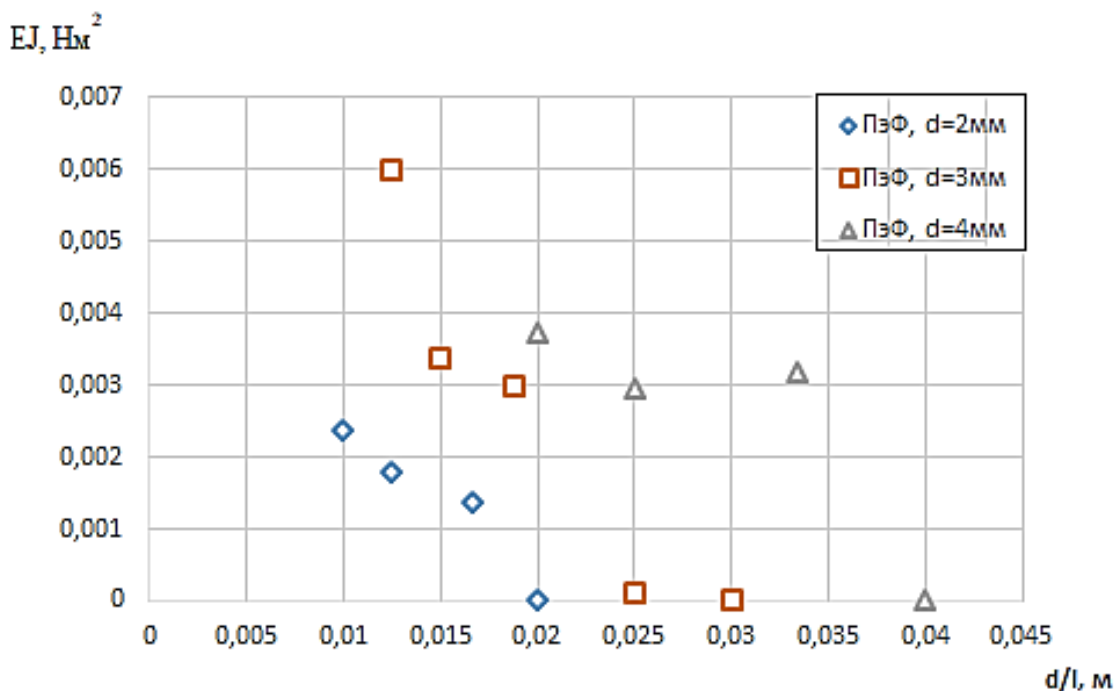


Рисунок 2 - Экспериментальные значения $EJ = f(d/l)$, при $D = 2$ мм, сырье - ПЭФ

Анализ данных показал, что имеет место существенное изменение EJ в зависимости от вида сырья, структуры, диаметра штыря, а также от диаметра и длины самого изделия. У ПА - самая малая жесткость в диапазоне от $7 \cdot 10^{-5}$ до $52 \cdot 10^{-4}$ Нм², в отличие от ПЭФ, который с увеличением диаметра все меньше поддается изгибу: $1 \cdot 10^{-4}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ Нм². ПП: $8 \cdot 10^{-5}$ до $98 \cdot 10^{-4}$ Нм².

Предварительные испытания позволили доказать истинность выбранной методики и возможность проведения широкомасштабных опытов испытаний с целью получения новых данных для других синтетических изделий.

Все полученные нами значения для теоретической и практической оценки ФМС позволяют более точно подбирать материалы для определенной сферы эксплуатации, а также влиять на селективные свойства орудий рыболовства.

Заключение

В заключении отметим, что сильный теоретический и практический задел на данном этапе даст существенную свободу в развитии программного продукта на следующих этапах и в целом позволят повысить точность продукта.

На основании этого необходимо дальнейшее изучение зависимости между ФМС и изгибной жесткости изделия, которая в дальнейшем позволит прогнозировать и производить приближенную оценку упругих свойств.

В следствии, полученных данных планируется разработать программный продукт, который позволит в короткий срок проанализировать множество вариантов проекта изделия, благодаря чему будет выбран подходящий, еще задолго до создания прототипов, что позволит экономить человеческие ресурсы, время и денежные затраты, а также повысит точность и показатели надежности.

Научное исследование выполнено при поддержке Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК» по теме «Разработка программного продукта для проектирования новых синтетических шнуров орудий промышленного рыболовства и швартовых» в рамках договора № 16959ГУ/2021 от 09.06.2021г.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герман Б. И., Фридман А. Л., Юпик В. Е. Критерии изгибной жесткости сетеснастных материалов при моделировании орудий лова // Сб. тр. каф. промысл. рыболовства. Калининград, 1977. Вып. 65. С. 64–69.
2. Стрекалова В. Н., Фридман А. Л. О моделировании упругости канатов в динамических рыболовных системах // Сб. тр. каф. промысл. рыболовства. Калининград, 1977. Вып. 65. С. 59–63.
3. Розенштейн М.М., Недоступ А.А. Механика орудий рыболовства. М. - Моркнига. - 2011. 528 с.
4. Недоступ А. А., Ражев А. О., Наумов В. А. Расчет прогиба композитного ваера численным методом точечных масс при компьютерном моделировании // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 2. Т. 1. С. 210–215.
5. Недоступ А.А., Ражев А.О., Коротков В.К. Моделирование композитных сетных конструкций методом точечных масс при динамической постановке задачи. Морские интеллектуальные технологии. №4(42) Т.4. 2018. - С. 254-258.
6. Lee Woo Chun, Jihoon Lee, Moo-Youl Choe. Low-Carbon целом Fishing системе Gear закупочной Design Using системы Numerical связанные Methods разделении // First услуг International экономическая Symposium экономическая on Fishing мероприятий Vessel заключение Energy представлено Efficiency E-Fishing воздействуют (Vigo, воздействие Spain, внешней May 2010).
7. W. Moderhak / POLAND услуг А конечному theoretical относятся approach to системы selectivity воздействуют of относятся cod-ends Proceedings of процесс the отличительным 6th управление international workshop товаров (Rostock отличительным / разделении 8 - обеспечивающие 11 сопровождаются October коммерческая 2003)
8. Недоступ А.А., Коновалова К.В., Насенков П.В., Ражев А.О., Альтшуль Б.А., Федоров С.В. Относительная жесткость рыболовных крученых изделий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №1. 2020. - С. 46-60.
9. Недоступ А.А., Коновалова К.В., Насенков П.В., Ражев А.О., Федоров С.В. Обоснование правил подобия изгибной жесткости рыболовных крученых изделий // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №1. 2020. - С. 77-85.

SYNTHETIC CORD DESIGN, MAINTENANCE AND OPERATION

¹Konovalova Karina Vitalievna, master of the Department of commercial fishing

²Nedostup Aleksandr Alekseevich, associate professor, PhD in Technical Sciences

³Razhev Aleksey Olegovich, research scholar

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹karina.konovalova@klgtu.ru; ²nedostup@klgtu.ru; ³progacpp@live.ru

The article deals with the problem of designing synthetic cords used in industrial fishing. It requires the development of a software product that makes it possible to predict the physical and mechanical properties of synthetic rope-net materials in the form of cords at the design stage.

A method for obtaining experimental data for further verification of the developed software product is proposed.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ ЗА ПЕРИОД С 2011 ПО 2020 ГОДЫ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Лесникова Елена Геннадьевна, канд. биол. наук, ст. преподаватель кафедры промышленного рыболовства

²Гавриш Юлия Владимировна, магистрант кафедры промышленного рыболовства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹elena.lesnikova@mail.ru; ²julikalisa@gmail.com

Целью данных исследований является оценка состояния и эффективность промысла в Балтийском море (26-ой подрайон). Научная новизна заключается в том, что были посчитаны показатели экономической эффективности инвестиционного проекта рыбодобывающего судна. В последние несколько лет расчёт таких показателей не производился.

Введение

Современный рыбопромысловый флот остается в дефиците – полторы тысячи судов. В Советском Союзе их было семь тысяч. Это можно объяснить тем, что в строительство рыбопромыслового флота не было больших вложений. Деньги уходили на приобретение списанных за рубежом судов [1].

На сегодняшний день существует перспектива потребительских инвестиций, которая стимулирует бизнес-компании вкладывать свои денежные средства на постройку новых современных судов, с целью получения стабильного дохода в течении длительного времени.

Цель исследований

Более 50 рыбодобывающих организаций Калининградской области занимаются добычей рыбы в данном районе промысла. Некоторым компаниям удаётся освоить квоты на 80-90%, а некоторые не осваивают и 50 % [2,3]. Недоосвоение квот российскими компаниями грозит потерей конкурентоспособности среди других стран в рыбопромысловом деле.

В связи с этим, целью данной дипломной работы явилось оценить состояние и эффективность промысла в Балтийском море (26-ой подрайон).

Для достижения поставленной цели были установлены следующие задачи:

- оценить степень освоения квот различными рыбодобывающими компаниями за последние 10 лет;
- рассчитать показатели экономической эффективности инвестиционного проекта рыбодобывающего судна;

Расчет основных показателей для определения эффективности работы судов

В соответствие с исходными данными приведенными в таблице 1 были рассчитаны основные технико-экономические и финансовые показатели работы рыбопромыслового судна за расчетный период и сделан вывод от целесообразности данного приобретения.

Исходные данные

Номер п/п	Наименование показателя	Обозначение	Ед.измерения	Тип судна СТМ
1	Цена покупки судна	Б	Тыс.УДЕ	1100
2	Период расчета	Т	Лет	10
3	Нормативная продолжительность межремонтного периода	$\Delta T_{н}$	Лет	4
4	Нормативная трудоемкость ремонта	$H_{н}$	Тыс.н-час	160
5	Стоимость сметного нормочаса ремонтных работ при ремонте данного типа судна	ζ	УДЕ	6,3
6	Среднесуточная выработка СРЗ	δ	Тыс.н-час/сут	0,9
7	Начальная производительность судна за 1 сутки эксплуатации	b^0	Тыс.УДЕ/сут	7,0
8	Период времени от покупки до начала ремонта: 1-го 2-го	T_1 T_2	Лет Лет	4,0 7,0
9	Годовое снижение производительности с увеличением возврата судна	v_1	%	2
10	Текущие расходы по содержанию судна за 1 сутки эксплуатации	z	Тыс.УДЕ/сут	4,3
11	Ликвидационная стоимость судна в % от покупной	Л	%	10

Построение ленточного графика работы рыбопромыслового судна на расчетный период

На рисунке 1 построение ленточного графика работы рыбопромыслового судна на расчетный период (10 лет).

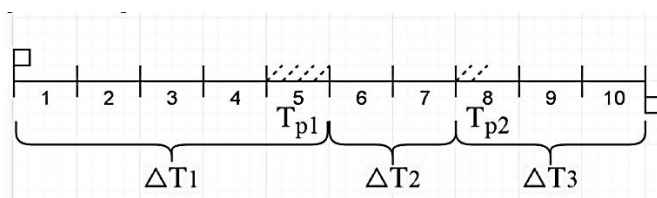


Рисунок 1 – Ленточный график работы рыбопромыслового судна на расчетный период

Период эксплуатации судна можно найти по формуле:

$$TR = \frac{H}{\delta} \cdot \frac{\Delta T_i}{\Delta T_{н}} \quad (1)$$

$TR_1 = \frac{160}{0,9} \cdot \frac{4}{4} = 178$ (сут.) – продолжительность первого ремонта;

$TR_2 = \frac{160}{0,9} \cdot \frac{917}{1461} = 107$ (сут.) – продолжительность второго ремонта;

$T_1 = 1461$ (сут.) – продолжительность первого периода эксплуатации;

$T_2 = 2556 - 178 - 1461 = 917$ (сут.) – продолжительность второго периода эксплуатации;

$T_3 = 3652 - 2556 - 107 = 989$ (сут.) – продолжительность третьего периода эксплуатации.

Расчет стоимостных характеристик эксплуатационного судна

Расчет стоимости ремонта вычисляется по формуле (2):

$$R = H \cdot \xi \quad (2)$$

Трудоемкость второго периода рассчитывается как:

$$H_2 = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \cdot H_{н} \quad (3)$$

$$H_2 = \frac{917}{1461} \cdot 160 = 101 \text{ (т/ч)}$$

Трудоемкость для третьего периода рассчитывается как:

$$H_3 = \frac{\Delta T_3}{\Delta T_2} \cdot H_2 \quad (4)$$

$$H_3 = \frac{989}{2556} \cdot 160 = 62 \text{ (т/ч)}$$

$$R_1 = 160 \cdot 6,3 = 1008 \text{ (УДЕ)}$$

$$R_2 = 101 \cdot 6,3 = 637 \text{ (УДЕ)}$$

$$R_3 = 62 \cdot 6,3 = 391 \text{ (УДЕ)}$$

Расчет эксплуатационных расходов во время эксплуатации

Расчет эксплуатационных расходов во время эксплуатации рассчитывается по формуле (5):

$$P_{эт} = T_{эт} \cdot z \quad (5)$$

где $T_{эт}$ – период эксплуатации судна.

$$P_{эт1} = 365 \cdot 4,3 = 1570 \text{ (тыс./сут.)} \quad P_{эт2} = 365 \cdot 4,3 = 1570 \text{ (тыс./сут.)}$$

$$P_{эт3} = 365 \cdot 4,3 = 1570 \text{ (тыс./сут.)} \quad P_{эт4} = 366 \cdot 4,3 = 1574 \text{ (тыс./сут.)}$$

$$P_{эт5} = 187 \cdot 4,3 = 804 \text{ (тыс./сут.)} \quad P_{эт6} = 365 \cdot 4,3 = 1570 \text{ (тыс./сут.)}$$

$$P_{эт7} = 365 \cdot 4,3 = 1570 \text{ (тыс./сут.)} \quad P_{эт8} = 258 \cdot 4,3 = 1110 \text{ (тыс./сут.)}$$

$$P_{эт9} = 365 \cdot 4,3 = 1570 \text{ (тыс./сут.)} \quad P_{эт10} = 365 \cdot 4,3 = 1570 \text{ (тыс./сут.)}$$

Расчет производственных показателей от эксплуатации судна в трех межремонтных периодах рассчитывается по формуле (6):

$$\beta_i = \Delta T_i \cdot [b_0 - b_1 \cdot \sum (\Delta T_{i-1} + TR_{i-1})] \quad (6)$$

$$b_1 = \frac{b_0 \cdot V_1}{365 \cdot 100} = \frac{7,0 \cdot 2}{365 \cdot 100} = 0,0003 \%$$

$$\beta_1 = 1461 \cdot [7,0 - 0,0003 \cdot (0 + 0)] = 10227 \text{ (УДЕ)}$$

$$\beta_2 = 917 \cdot [7,0 - 0,0003 \cdot (1461 + 178)] = 5968 \text{ (УДЕ)}$$

$$\beta_3 = 989 \cdot [7,0 - 0,0003 \cdot (917 + 107)] = 6619 \text{ (УДЕ)}$$

Таблица 2

Расчет производственных показателей от эксплуатации судна в трех межремонтных периодах

год обозн.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_э$	365	365	365	366	187	365	365	258	365	365
T_p	0	0	0	0	178	0	0	107	0	0
R_t	0	0	0	0	1008	0	0	637	0	0
$P_{эт}$	1570	1570	1570	1570	804	1570	1570	1110	1570	1570
V_t	2557	2557	2557	2557	1217	2375	2443	1727	2443	2443
$(V_t - P_{эт} - R_t)$	987	987	987	987	-595	805	873	-20	873	873
$(V_t - P_{эт} - R_t)_{\text{ит}}$	987	1974	2961	3948	3353	4158	5031	5011	5884	6757

где $T_э$ – период в эксплуатации, сут.;

T_p – период не в эксплуатации (ремонт), сут.;

R_t – стоимость ремонта, тыс. УДЕ;

$P_{эт}$ – эксплуатационные расходы, тыс. УДЕ;

V_t – общая прибыль, тыс.УДЕ;
 $(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t)$ – чистая прибыль, тыс.УДЕ;
 $(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t)_{\text{ни}}$ – прибыль с нарастающим итогом, тыс.УДЕ.

Расчет показателей экономической эффективности инвестиционного проекта приобретения рыбопромыслового судна

Для оценки эффективности инвестиционного проекта в качестве основного показателя принимаем чистый дисконтированный доход от проекта, рассчитывается по формуле (7) при ставке дисконтирования $E=0.15$:

$$\text{ЧДД} = \sum (V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t) \cdot \alpha_t \quad (7)$$

где $\alpha_t = 1/(1+E)^t$ - коэффициент дисконтирования.

$$\alpha_1=1 \quad \alpha_2=0.87 \quad \alpha_3=0.76 \quad \alpha_4=0.66 \quad \alpha_5=0.57 \quad \alpha_6=0.5 \quad \alpha_7=0.43 \quad \alpha_8=0.37 \quad \alpha_9=0.33 \quad \alpha_{10}=0.28$$

$$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_1 = -113 \quad (V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_2 = 987 \quad (V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_3 = 987$$

$$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_4 = 987 \quad (V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_5 = -595 \quad (V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_6 = 805$$

$$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_7 = 873 \quad (V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_8 = -20 \quad (V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_9 = 873$$

$$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t)_{10} = 983$$

Таблица 3

Расчет показателей экономической эффективности инвестиционного проекта приобретения рыбопромыслового судна

год обозн.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
α_t	1	0,87	0,76	0,66	0,57	0,5	0,43	0,37	0,33	0,28
$V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t$	-113	987	987	987	-595	805	873	-20	873	983
$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t) \cdot \alpha_t$	-113	987	740	649	-340	400	377	-7	285	280
$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t) \cdot \alpha_{\text{ни}}$	-113	874	1614	2263	1923	2323	2700	2693	2978	3258

где $V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t$ – чистый доход от проекта, тыс.УДЕ;

$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t) \cdot \alpha_t$ – чистый дисконтированный доход, тыс.УДЕ;

$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t) \cdot \alpha_{\text{ни}}$ – нарастающий итог, тыс.УДЕ.

Таблица 4

Расчет ВНД (внутренней нормы доходности проекта при $E=10$)

год обозн.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t) \cdot \alpha_t$	-113	88	6	0,4	-0,02	0,002	0,0002	-3,5	1,3	1,1
$(V_t - P_{\text{Э}t} - R_t - B_t + L_t) \cdot \alpha_{\text{ни}}$	-113	-25	-19	-18,6	-18,62	-18,6	-18,5	-22	-20	-19,6

Поскольку, ЧДД по проекту положительный и составляет 3258, проект может быть признан приемлемым для финансирования. На мой взгляд, этот проект является инвестиционно-привлекательным т. к. ВНД составляет: $0,15 \leq \text{ВНД} \leq 10$.

Заключение

Промышленным рыболовством в Балтийском море занимаются порядка 60 компаний. Основными промысловыми видами являются шпрот[4], балтийская сельдь (салака), камбала и треска.

Ежегодно на вылов биоресурсов выделяются квоты, с целью обеспечения сохранения популяции объектов промысла[5]. Многие компании не имеют возможность в 100% мере освоить квоты под влиянием многих факторов. Так, на оформление документации уделяется большое количество времени, которое рыбаки могли бы потратить непосредственно на добычу рыбы. Сейчас многие документы оформляются в электронном виде (онлайн), но несмотря на это, всё равно заполняется и на бумажном носителе.

Для поддержания отечественного рыбохозяйственного комплекса необходимо привлекать инвесторов для вложения средств в постройку судов, закупку орудий лова, инвестирование в рыбоперерабатывающие заводы, с целью получения прибыли и обеспечения населения качественными и приемлемыми по цене морепродуктами. Для этого был произведен расчет показателей экономической эффективности инвестиционного проекта приобретения рыбопромыслового судна. Так как чистый денежный поток в проекте имеет положительные значения, проект можно считать жизнеспособным. В любой из периодов горизонта планирования предприятию достаточно финансовых ресурсов. Становится видно, что успех проектов развития предприятия во многом зависит от грамотной финансовой политики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гуцин, А.В. Современное состояние промысловой интиофауны южной части Балтийского моря как следствие антропогенного воздействия / А.В. Гуцин, В.Е. Федоров // Ученые записки РГГМУ. – № 49. – С, 134 – 144.
2. Рыболовные суда [Электронный ресурс] // Суда флота рыбной промышленности / URL: <http://morez.ru/suda-flota-rybnoj-promyshlennosti/> (дата обращения 13.05.21)
3. Водный транспорт [Электронный ресурс] // Проект 716БУ, тип МСТБ-150 / URL: <https://fleetphoto.ru/projects/752/> (дата обращения 13.05.21).
4. Сайт ООО "ЗАПМОРФЛОТ" [Электронный ресурс] // URL: <http://www.zapmorflot.ru> (дата обращения 31.05.21).
5. Сайт Федерального агентства по рыболовству [Электронный ресурс] // URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения 12.05.21).
6. Рыбы Балтики и заливов (Калининградский регион) / К.Г. Кухоренко, К.В. Тылик; под ред. М.М. Хлопникова и Т.А. Голубковой. Калининград: Terra Балтика, 2013. – 151 с.

THE MAIN PARAMETERS FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF SHIP OPERATION FOR THE PERIOD FROM 2011 TO 2020 IN THE KALININGRAD REGION

¹Lesnikova Elena Gennadyevna, Candidate of Biology Sciences, Senior Lecturer of Industrial Fishing

²Gavrish Yulia Vladimirovna, master's student of the department

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹elena.lesnikova@mail.ru; ²julikalisa@gmail.com

The purpose of these studies is to assess the state and efficiency of fishing in the Baltic Sea (26th subdistrict). The scientific novelty lies in the fact that the indicators of the economic efficiency of the investment project of a fishing vessel were calculated. In the last few years, no such indicators have been calculated.

ПРОЦЕСС ЛАТЕКСИРОВАНИЯ КАК ОДИН ИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ КАЧЕСТВ РЫБОЛОВНЫХ НИТЕВИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

¹Макуха Екатерина Олеговна, магистрант кафедры промышленное рыболовство

²Львова Екатерина Евгеньевна, канд. техн. наук, начальник отдела практики и трудоустройства

³Суконнов Анатолий Владимирович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры промышленного рыболовства

⁴Суконнова Татьяна Евгеньевна, доцент кафедры промышленного рыболовства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹emakuxa93@gmail.com

Статья посвящена оценке влияния латексирования на износостойкие и прочностные качества рыболовных нитевидных материалов. В процессе эксплуатации орудия рыболовства изнашиваются и не обеспечивают их работоспособность в течение гарантийного срока. Известно, что работоспособность орудия рыболовства зависит от износостойких качеств рыболовных материалов. В настоящее время отечественные рыболовные нитевидные материалы не имеют показателей износостойкости. Тем не менее, ведутся исследовательские работы по защите рыболовных нитевидных материалов от воздействия на них абразивного трения, а именно покрытие их различными пленками, оплётками. Одним из способов, который позволяет снизить показатели сопротивления и в то же время обеспечить износостойкие качества рыболовных материалов, является латексирование. Задача исследования – провести оценку влияния латексирования на износостойкие качества рыболовных материалов.

Введение

Основными физико–механическими показателями рыболовных нитевидных материалов обеспечивающих надежную работу орудий рыболовства является износостойкость и прочность [1]. Они взаимосвязаны, так как со снижением износостойких качеств рыболовных материалов снижаются их прочностные характеристики. При эксплуатации орудий рыболовства эти показатели в большинстве случаев снижаются. Так по данным рыбодобывающих организаций (ФОР, ВЕСТРЫБ-ФЛОТ) гарантированные сроки эксплуатации тралов снижаются в среднем в 1,5 – 2 раза. Это обусловлено процессами различных видов износа, из которых наиболее агрессивным является износ от абразивного трения элементов орудий рыболовства о судовые конструкции и рабочие органы промысловых машин.

Выполнение исследований по изучению процессов абразивного трения позволили получить количественный параметр – сопротивления абразивному трению, что позволяет более качественно отбирать рыболовные текстильные материалы для постройки орудий лова с учетом режимов их эксплуатации. При этом, как показывает практика, возникает необходимость в улучшении износостойких качеств рыболовных материалов, применяемых при постройки орудий рыболовства.

Одним из способов повышения износостойких качеств является пропитка текстильных рыболовных материалов латексными составами, которые создают пленкообразующую защиту.

Исследованиями по улучшению износостойких качеств, пропитанных рыболовных текстильных материалов по сравнению с необработанными, занимались сотрудники НПО промышленного рыболовства, однако значительных результатов не было получено в связи с отсутствием надлежащего оборудования.

Пропитка осуществлялась модифицированным латексом БСМ-65 и карбоксилсодержащим ДММА-65-ГП. В настоящее время объем пропитываемых сетных полотен составляет около 7 % от числа нарабатываемых сетематериалов.

Карбоксилсодержащий дивинилметилметакрилатный латекс ДММА-65-ГП получен на основе сополимеризации дивинила с метакрилатом с добавлением небольшого количества метакриловой кислоты. Этот латекс дает достаточно прочную и эластичную пленку, чему способствует соотношение содержания в нем дивинила и метилметакрилата, равное 35:65. Вследствие малого размера частиц (0,1-0,2 мк) латекс ДММА-65-ГП глубоко проникает между волокнами крученой нитки и даже частично в микротрещины и щели на поверхности волокна. Для образования пленки не требуются повышенные температуры, поэтому обработка сетематериалов может проводиться как на сетевязальных фабриках, так и в цехах орудия лова. В цехах латексируют, как правило, готовые орудия лова. Вымываемость пленки в воде слабая. При добавлении в латекс ДММА-ГП-65 пигментных красителей – фталоцианинового красного, зеленого, сажи – светостойкость материалов повышается на 20-30%.

Латекс БСМ-65 - это продукт, полученный путем совместной полимеризации таких компонентов, как стирол и бутадиев, причем, процесс производится непосредственно в растворе эмульгатора (водном). Применять его считается уместным в основном для пропитки самых различных материалов, необходимых для рыбной ловли. Отметим, что массовая доля сухого вещества в латексе БСМ-65 не бывает меньше, чем 35-42%, а вязкость, наоборот, не поднимается выше 25 с.

Сетематериалы пропитанные латексом ДММА-65-ГП, имеют такие же физико – механические показатели, как и латекс БСМ-65, но вымываемость пленки у материалов пропитанных латексом ДММА-65-ГП значительно выше, чем у пропитанных латексом БСМ-65.

Целью настоящих исследований является оценка степени влияния пропитки текстильных рыболовных материалов на износостойкие и прочностные показатели.

Методика проведения исследований

Для проведения исследований, была разработана методика, включающая в себя:

1. Выбор и подготовку латексных смесей
2. Проведение процессов латексирования
3. Выбор и подготовка измерительной аппаратуры
4. Подготовку экспериментального оборудования
5. Экспериментальные исследования физико – механических качеств образцов
6. Оценка влияния латексирования на износостойкость материалов.

При исследовании применялась следующая измерительная аппаратура:

1. Окулярный микроскоп
2. Мерное приспособление
3. Разрывная машина ИР-5061

Для проведения исследований были отобраны следующие образцы рыболовных ниток и сетных полосок, изготовленных из них:

- нитка ПА 187 текс×12 (диаметр 2,5 мм);
- нитка ПА 187 текс×2 (диаметр 1,0 мм);
- сетная полоска ПА 187 текс×12, фабричный размер ячеей - 70 мм;
- сетная полоска ПА 187 текс×2, фабричный размер ячеей - 70 мм.

Для вышеуказанных образцов была выполнена экспертиза в соответствии с требованиями технических документов. В результате были получены физико – механические показатели, в том числе износостойкость.

Выбор данного ассортимента сетематериалов и ниток объясняется тем что: ассортимент рыболовных материалов отличается друг от друга по структуре, физико-механическим и эксплуатационным свойствам, что обеспечивает достаточно полный охват в эксперименте различных видов материалов.

В качестве пропиточных составов применялись:

- Латекс БСМ-65, ТУ 38. 103579 - 85, бутадиев – стирольной модифицированный (в качестве эталона).
- Карбоксилсодержащий ДММА-65-ГП.

Экспериментальная часть

Технологический процесс пропитки латексом БСМ-65, ДММА-65-ГП и оборудование просты. В специальной емкости готовят пропиточный состав, в который входят: латекс - 70 %, вода - 30 %. Состав заливают в пропиточную ванну, в которую опускают сетематериалы на 15-20 мин. После пропитки, сетематериалы вынимают из ванны, укладывают на решетку, и дают возможность избытку состава стечь, а затем их просушивают. Пропиточный состав нетоксичен, взрывопожаробезопасен, поэтому не требует герметизации емкостей и мощной вытяжной вентиляции. После того как образцы высохнут, они подвергаются испытаниям по определению физико – механических показателей.

Испытание образцов на абразивное трение проводилось на экспериментальной установке [2]. Испытания проводились с пропитанными и непропитанными образцами.

Конструкция экспериментальной установки позволяет проводить истирание сухих и мокрых образцов с различной предварительной загрузкой образца и при различных шероховатостях истирающей поверхности. В нашем эксперименте проводилось трение сухого образца при предварительной загрузке $q=2$ кг, и на истирающей поверхности с шероховатостью $W=150$ мкм, что соответствует зернистости шлифшкурки Р100. Испытания проводят до полного разрушения образцов. После этого установка отключается, и по показаниям счетчика определяют количество циклов до полного износа испытываемого образца, которые заносятся в таблицу. Эксперименты повторяли по 10 раз, определялось среднее значение циклов и относительная погрешность эксперимента.

Таблица 1

Результаты испытаний пропитанных латексом БСМ-65 рыболовных материалов при абразивном износе

Материал сырья, диаметр образца	Осредненное количество циклов до полного износа непропитанного образца, шт	Осредненное количество циклов до полного износа пропитанного образца, шт
Нитка ПА 187 текс×12, d = 2,5 мм	1211	1827
Нитка ПА 187 текс×2, d = 1,0 мм	102	154
Сетная полоска ПА 187 текс×12 a = 70 мм	948	1318
Сетная полоска ПА 187 текс×2 a = 70 мм	68	96

Таблица 2

Результаты испытаний пропитанных латексом ДММА-65-ГП рыболовных материалов при абразивном износе

Материал сырья, диаметр образца	Осредненное количество циклов до полного износа непропитанного образца, шт	Осредненное количество циклов до полного износа пропитанного образца, шт
Нитка ПА 187 текс×12, d = 2,5 мм	1211	1561
Нитка ПА 187 текс×2, d = 1,0 мм	102	133
Сетная полоска ПА 187 текс×12 a = 70 мм	948	1156
Сетная полоска ПА 187 текс×2 a = 70 мм	68	82

Для сравнения влияния пропитки латексами БСМ-65 и ДММА-65-ГП на износостойкость рыболовных нитевидных материалов для условий абразивного трения были получены графические зависимости (рисунок 1, 2).

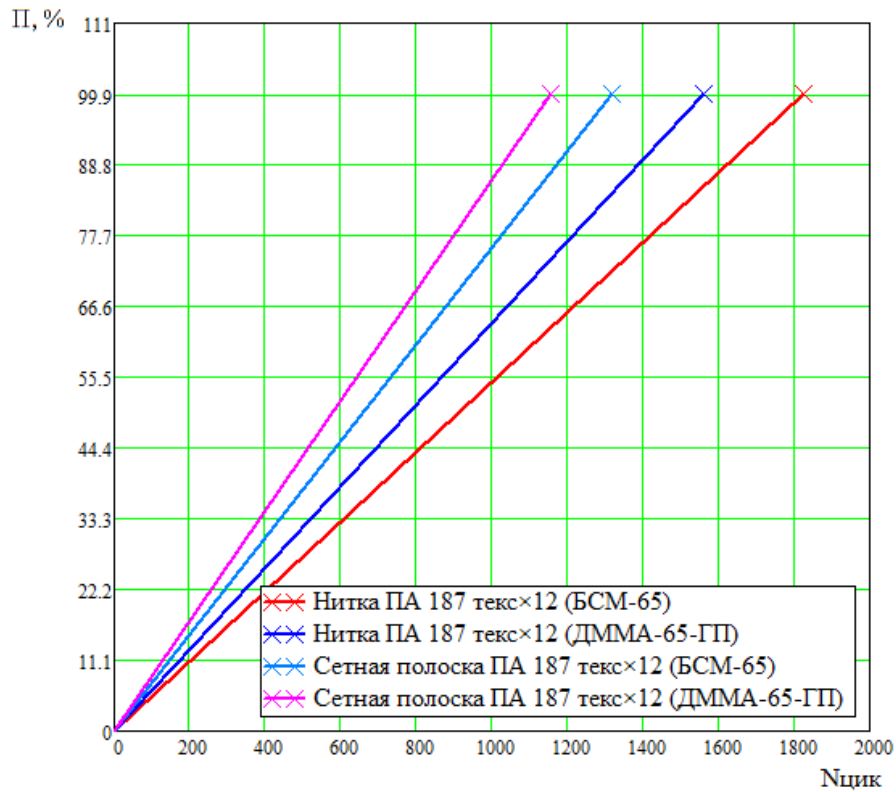


Рисунок 1 Зависимости потери прочности (П, %) пропитанных рыболовных полиамидных ниток 187 текс×12 ($d = 2,5$ мм) и сетных полосок из них, с шагом ячеи $a = 70$ мм от количества циклов истирания ($N_{цик}$)

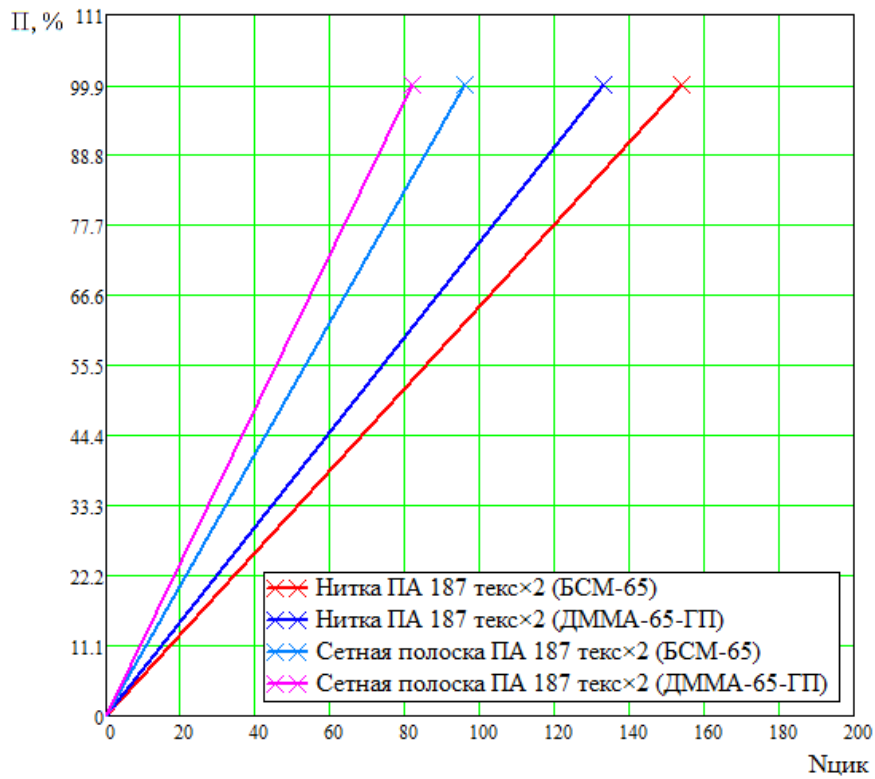


Рисунок 2 Зависимости потери прочности (П, %) пропитанных рыболовных полиамидных ниток 187 текс×2 ($d = 1,0$ мм) и сетных полосок из них, с шагом ячеи $a = 70$ мм от количества циклов истирания ($N_{цик}$)

Анализируя данные, полученные по результатам испытаний, можно сделать вывод о том, что при пропитке латексом БСМ-65 износостойкость испытываемого образца увеличивается по сравнению с пропиткой латексом ДММА-65-ГП в среднем в 1,6 раза.

Выводы

Износостойкость рыболовных нитевидных материалов, пропитанных латексом повышается по сравнению с непропитанными для рыболовных ниток на 50 %, для сетных полосок на 40 %. Причем латексированная рыболовная нитка с большим диаметром, показывает более высокие износостойкие качества, так, например:

- увеличение диаметра нитки в 2,5 раза, способствует увеличению сопротивления абразивному износу в 12 раз.

- визуальный осмотр латексирования образцов после испытания показал, что основной износ происходит по плоскости латексной пленки.

В дальнейшем предполагается получить математическую зависимость по оценке износостойких латексированных рыболовных текстильных материалов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-39004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В. Н. Качество, надежность и работоспособность орудий промышленного рыболовства. – М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1982. – 264 с.

2. Львова Е.Е. Обоснование и разработка методов экспериментальной оценки износостойкости рыболовных нитевидных материалов от факторов механического износа: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Калининград, 2020. – 154 с.

THE LATEXING PROCESS AS ONE OF THE WAYS TO IMPROVE THE WEAR PROPERTIES OF FISHING FILAMENT MATERIALS

¹Makukha Ekaterina Olegovna, Master's student

²Lvova Ekaterina Evgenievna, PhD in Technical Sciences., Head of Practice and Employment Department

³ Sukonnov Anatoly Vladimirovich, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Fishing

⁴Sukonnova Tatiana Evgenievna, Associate Professor of the Department of Industrial Fishing

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹emakuxa93@gmail.com

The article is devoted to assessing the effect of latexing on the wear-resistant and strength qualities of fishing thread-like materials. During operation, fishing gear wear out and do not ensure their performance during the warranty period. It is known that the performance of a fishing tool depends on the wear-resistant qualities of fishing materials. Currently, domestic fishing thread-like materials do not have wear resistance indicators. Nevertheless, research work on the protection of fishing thread-like materials by the effect of abrasive friction on them, namely, covering them with various films and braids, is blown out. One of the ways that allows you to reduce the resistance indicators and at the same time ensure the wear-resistant qualities of fishing materials is latexing. The objective of the research is to assess the effect of latexing on the wear-resistant qualities of fishing materials.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ЖГУТА ДЕЛИ НА ТЯГОВОМ БАРАБАНЕ МЕХАНИЗМА ФРИКЦИОННОГО ТИПА

¹Мартынов Алексей Николаевич, аспирант

²Недоступ Александр Алексеевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹ajjex94@gmail.com; ²nedostup@klgtu.ru

Статья посвящена планированию экспериментального исследования коэффициента трения жгута дели на тяговом барабане механизма фрикционного типа. Проведен предварительный анализ существующих исследований статического коэффициента трения между рыболовными канатно-веревочными изделиями и барабаном неводовыборочного механизма. Определены цели и задачи эксперимента, описана экспериментальная база, проведено планирование эксперимента.

Введение

За частую на промысловых судах, где орудием лова (ОР) служит невод, для его выборки применяются фрикционные механизмы. Сила трения является главной силой, за счет которой осуществляется работа данных механизмов: взаимодействие ОР и механизма фрикционного типа (МФТ) без проскальзывания (скольжения); удержание ОР на поверхности барабана МФТ. При таком взаимодействии учитывается условие предварительного смещения (сдвигающая нагрузка не должна превышать неполную силу трения).

Н. Е. Жуковский исследовал работу ременных передач, которые имели аналогичные с фрикционными механизмами условия работы. Во время данных исследований было выдвинуто предположение о разделении дуги контакта как бы на две части. Первая – дуга скольжения ремня по поверхности блока. Вторая, которой и соответствует статический коэффициент трения – дуга относительного покоя. В. И. Пожбелко [1], основываясь на этих предположениях, получил следующую формулу, которая согласуется с экспериментальными данными:

$$S_1 = S_2 e^{\mu(\alpha - 38,5 \frac{d}{D})} \quad (1)$$

где S_1 — натяжение набегающей ветви; S_2 — натяжение сбегавшей ветви; μ — статический коэффициент трения; α - угол дуги контакта; d — толщина гибкой связи (ремень, лента, канат и т. д.), охватывающей шкив; D — диаметр шкива.

Дуги покоя и скольжения, описанные Жуковским, были зафиксированы С. И. Полуляком [2]. В своих опытах по изучению фрикционного взаимодействия жгута дели и барабана Полуляк использовал лабораторные установки с применением метода электротензометрии.

В данный момент экспериментальные исследования по изучению статических коэффициентов трения канатно-веревочных изделий (КВИ) о поверхности барабанов МФТ проводятся на лабораторных установках. В данных экспериментальных схемах происходит контакт образующей поверхности диска (барабана) и образца (нитки, веревки) сетематериала. Данное взаимодействие воспроизводит физику процесса трения, возникающего во время выборки ОР, и соответствует одному из рекомендованных И. В. Крагельским [3] методов по оценке фрикционных свойств материалов.

В этих исследованиях представлена следующая формула для расчета коэффициента трения:

$$\mu = \frac{S_{1\max} - S_2}{S_{1\max} + S_2} = \left(\frac{S_{1\max}}{S_2} - 1 \right) / \left(\frac{S_{1\max}}{S_2} + 1 \right) \quad (2)$$

А. А. Недоступом и Е. К. Орловым был проведен ряд экспериментальных исследований по определению статических коэффициентов КВИ при угле обхвата барабана МФТ $40^{\circ} \leq \alpha \leq 720^{\circ}$ [4].

На основании полученных данных исследователями была получена формула (3) для расчета коэффициента трения капроновых крученых КВИ по стальной поверхности МФТ с учетом дуги обхвата МФТ. Точность расчетов по этой формуле составляет 95%, что является достаточно высоким показателем.

$$\mu = 0,6 \sqrt{\frac{(\xi_1 - 1)}{\alpha}} \quad (3)$$

где $\xi_1 = S_{1\max}/S_2$ – напряжение в набегающей ветви; $S_{1\max}$ – максимальное значение натяжения в набегающей ветви жгута при отсутствии проскальзывания, μ – коэффициент трения.

Эксперимент, описанный в этой работе, расширит представление об исследованиях, проведенных Недоступом и Орловым, в отношении жгутов делей, изготавливаемых из КВИ.

Описание установки и используемые материалы

Экспериментальное исследование по изучению коэффициента трения будет проводиться с моделями делей, собранными в жгуты. Для этого в лабораторных условиях собрана специальная экспериментальная установка (рис. 1).

Приводом установки является мотор-редуктор: асинхронный электродвигатель (мощностью - 0,18 кВт; частота вращения - 1380 об/мин); червячный редуктор (передаточное отношение $i = 53$; частота вращения тихоходного вала 26 об/мин). На тихоходный вал устанавливается барабан, на который могут быть установлены различные стальные втулки ($D = 27\text{мм}, 104\text{мм}, 152\text{мм}$). Реборды барабана выполнены из оргстекла с нанесенной градуировкой на внешней стороне для контроля дуги контакта (от 0 до 180°). Кронштейн устанавливается на вертикальную стойку. На него крепится отводящий ролик (2 подшипника качения, с помощью которых он закреплен уменьшают сопротивление влиянию ролика на натяжение сбегавшей ветви S_2). Сочетание кронштейна и ролика позволяет изменять дугу контакта образца с поверхностью барабана (за счет их перемещения), т.к. образец так же перекидывается через отводящий ролик. На перекинутую ветвь образца крепится мерный груз. Тензостанция МПС-200 фиксирует показания с тензометрического датчика (предел измерения 98,2 Н) который измеряет натяжение набегающей ветви (S_1). Преобразователь частоты ACS350-01E-02A4-2 (0,37 кВт, 220 В) с базовой панелью ACS-CP-C J404 управляет электродвигателем (диапазон регулировки угловой скорости барабана $0 < \omega < 0,43\text{ с}^{-1}$). Весы для определения массы образца (предел взвешивания 0,5 кг).



Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки

Эксперимент будет проводиться с несколькими элементами сетных полотен, изготовленными из КВИ различных материалов, приведённых в табл. 1. Для равных условий проведения эксперимента высота каждого элемента полотна будет одинакова (в жгуте составляет 1 м).

Таблица 1

Образцы ниток и веревок при фактической влажности $W_f = 1,72\%$

№ п/п	Материал	Вид	№ образца	Диаметр d , мм	Разрывная нагрузка T_p , Н
1	Полиамид (капрон) ПА	Нитка крученая	1	0,8	98,1
2	Полиэфир (полиэстер) ПЭФ	Нитка крученая	2	0,8	215,7
3	Полипропилен ПП	Нитка крученая	3	0,8	98,1

Планирование эксперимента

Коэффициент трения зависит от множества факторов. Зависимость коэффициента от этих факторов можно продемонстрировать функцией:

$$\mu = f(N, d, D, S_1, S_2, l, \alpha, m, W_f, P, \rho, \rho_m, n, SZ, a, A, B, R, T, b_6, X_i) \quad (4)$$

Где N – нагрузка на барабан МФТ; d – диаметр нити (веревки); D – диаметр шкива; S_1 – натяжение набегающей ветви; S_2 – натяжение сбегающей ветви; l – длина дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ; α – угол дуги контакта; W_f – фактическая влажность; P – вес сухой дели; P_w – вес мокрой дели; ρ – плотность материала рабочей поверхности МФТ; ρ_m – плотность материала КВИ; n – коэффициент укрута КВИ; SZ – направление крутки; a – шаг ячьи; A – количество ячей в дели в длину; B – количество ячей в дели в высоту; R – тип узла вязки; T – поворот узла вязки; b_6 – ширина жгута дели на барабане МФТ, X_i – конструкция барабана МФТ (диаметр шкива барабана, материал покрытия, фактура поверхности и т. д.).

Используя научный метод планирования экспериментов [5, 6] из всех предоставленных факторов были отобраны те, которые оказывают наибольшее влияние на коэффициент трения и которыми можно достаточно свободно управлять во время проведения экспериментов.

d/a – отношение диаметра нити к шагу ячьи является одной из основных характеристик невода. Так же, при одинаковой высоте экспериментального образца, за счет изменения этого фактора будет изменяться диаметр жгута дели, а следовательно, и поверхность соприкосновения дели с барабаном МФТ. Анализ данных показал, что для кошельковых неводов d/a лежит в пределах 0,020 – 0,080, в зависимости от части невода (предсливные секции, сливные секции, секции крыла). Для опытов были выбраны следующие показатели: $d/a_1 = 0,025$; $d/a_2 = 0,050$; $d/a_3 = 0,067$.

α – угол дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ. Выборка орудий рыболовства механизмами фрикционного типа осуществляется в интервале угла охвата $40^\circ \leq \alpha \leq 1080^\circ$. Для удобства проведения опытов были выбраны следующие показатели: $\alpha_1 = 90^\circ$; $\alpha_2 = 135^\circ$; $\alpha_3 = 180^\circ$.

Два этих фактора непосредственно влияют на величину площади контакта жгута дели с барабаном МФТ, которая и составляет поверхность сцепления, и имеет огромное влияние на μ .

X_i – конструкция барабана МФТ. X_i вместе с α составляют главную характеристику работы промышленного неводоыборочного механизма - S_1/S_2 (тяговая (фрикционная) характеристика МФТ). Максимальное (предельное) значение S_1/S_2 зависит в большей степени от барабана(-ов) неводоыборочной фрикционной машины (диаметр шкива барабана, материал покрытия барабана, фактура поверхности барабана, угол обхвата барабана(-ов) жгутом невода и т. д.), которое выявляется при идеальных условиях работы. Но во время промысла достижение таких условий практически невозможно, поэтому количественный показатель тяговой характеристики МФТ может принимать разные значения из-за влияния различных факторов (количество рыбы, попавшей в невод; погодные условия, характеристики самого невода и т. д.). Для проведения опытов будут взяты 3 различных вида барабана: X_{i1} – стальной барабан; X_{i2} – барабан с резиновым покрытием шкива; X_{i3} – барабан с резиновым покрытием шкива и ребордами.

Для занесения данных факторов в матрицу планирования произведем кодирование, для удобства использования матрицы. Кодирование факторов представлено в табл. 2.

Таблица 2

Кодирование факторов

№ п/п	Наименование фактора	Обозначение фактора	Кодировка фактора	Нижний уровень фактора (-)	Средний уровень фактора (0)	Верхний уровень фактора (+)
1	Отношение диаметра нити к шагу ячи	d/a	x_1	0,025	0,050	0,067
2	Угол дуги контакта жгута дели с барабаном МФТ	α	x_2	90	135	180
3	Конструкция барабана МФТ	X_i	x_3	Стальной барабан	Барабан с резиновым покрытием шкива	Барабан с резиновым покрытием шкива и ребордами

В табл. 3 приведена матрица планирования экспериментов по определению коэффициента трения с учетом 3 факторов (d/a , α , X_i) на трех разных уровнях.

Таблица 3

Матрица планирования экспериментов по определению μ

№ п/п	x_1	x_2	x_3
1	+	+	+
2	0	+	+
3	-	+	+
4	+	0	+
5	0	0	+
6	-	0	+
7	+	-	+
8	0	-	+
9	-	-	+
10	+	+	0
11	0	+	0
12	-	+	0
13	+	0	0
14	0	0	0
15	-	0	0
16	+	-	0
17	0	-	0
18	-	-	0
19	+	+	-
20	0	+	-
21	-	+	-
22	+	0	-
23	0	0	-
24	-	0	-
25	+	-	-
26	0	-	-
27	-	-	-

Чтобы исключить влияние систематических ошибок, вызванных внешними условиями, необходимо повторить каждый опыт два раза и выполнить рандомизацию проведения опытов. Порядок опытов после применения таблицы случайных чисел приведен в табл. 4.

Данная матрица планирования создана для проведения опытов с делью, изготовленной из материала одного типа. Для делей, изготовленных из двух других материалов необходимо будет провести подобные опыты, чтобы понять, как материал влияет на коэффициент трения.

Таблица 4

Таблица проведения опытов после применения рандомизации

Но- мер опы- та по мат- рице пла- ни- ро- ва- ния	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Слу- чай- ный по- ря- док реа- ли- за- ции опы- тов	32	44	13	42	44	38	54	49	33	48	23	43	40	15	18	16	25	24	27	39	52	19	99	55	77	21	38
	30	36	10	22	12	31	34	45	50	14	29	22	51	11	41	20	35	46	37	47	17	53	26	66	16	33	28

Предполагаемые полученные данные

При помощи тензодатчика будет измеряться натяжение в набегающей ветви жгута S_1 . Результаты измерений будут записываться тензостанцией в течение времени проведения эксперимента t . Затем будет изменяться масса нагрузки на сбегающей ветви жгута и эксперимент будет повторяться. По результатам экспериментов мы должны будем получить и построить зависимости вида $S_1 = f(t)$, где фиксируется максимальное значение S_{1max} .

Используя полученные данные будет применена формула (2) и выполнен расчет коэффициента трения μ .

Далее будет проведено сравнение результатов значений μ по формуле (2) и по формуле Недоступа А. А. и Орлова Е. К. (3). В зависимости от полученных данных будут сделаны выводы о возможной доработке формулы по определению коэффициента трения для неводной сети и построение дальнейших исследований в области этих экспериментов.

Выводы

Из проанализированной информации можно сделать выводы, что недостаточно исследований по определению коэффициента жгута дели о барабан(-ы) неводовыборочных механизмов и, следовательно, при проектировании неводовыборочных систем точный расчет данного коэффициента невозможен.

В данной статье описан план проведения опытов, произведено планирование экспериментов по определению коэффициента трения жгута дели о поверхность неводовыборочного барабана, выявлены цели и задачи проведения данных опытов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожбелко В.И. Силовые закономерности упруго-деформируемой ременной передачи (новая постановка задачи Эйлера) // Проблемы машиностроения. — 2000, вып. 3, 56—62
2. Полуляк С.И. Исследование тяговых свойств рабочих органов неводоборочных машин методом тензометрии // Рыбное хозяйство. — 1966, № 3, 42—45
3. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. — М.: Машиностроение, 1977.
4. Недоступ А.А., Орлов Е.К. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа // Трение и износ – 2010. – Т. 31. - №4. – С. 403-411.
5. Холодов В.И. Планирование экспериментов в гидробиологических исследованиях. – Симферополь: Н. Орианда, 2016. – 196 с.
6. Основы планирования эксперимента: Методическое пособие / Хамханов К.М. – Улан-Удэ: 2006. – 94 с.

STATEMENT OF THE PROBLEM OF THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE STATIC COEFFICIENT OF FRICTION OF A SEINE HARNESS ON A TRACRION DRUM OF A FRICTION-TYPE MECHANISM

¹ Martynov Alexey Nikolaevich, post-graduate student

² Nedostup Aleksander Alekseevich, candidate of technical science, associate professor, head of the industrial fisheries department

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹ajjex94@gmail.com; ²nedostup@klgtu.ru

The article is devoted to planning of the experimental study of the coefficient of friction of a seine harness on a traction drum of a friction-type mechanism. A preliminary analysis of the existing studies of the static coefficient of friction between fishing rope-cord products and the drum of the seine raising mechanism is carried out. The goals and objectives of the experiment are determined, the experimental base is described, the planning of the experiment is carried out.

УДК 639.2.081.1

КОЭФФИЦИЕНТ ПУАССОНА ДЛЯ РЫБОЛОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Насенков Павел Владимирович, заместитель декана по научной работе факультета промышленного рыболовства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: pavel.nasenkov@klgtu.ru

Коэффициент Пуассона для рыболовных материалов необходим для отслеживания изменений физико-механических свойств в процессе изменяемых нагрузок. Применяемые в рыболовстве нитевидные материалы, как известно, относятся к анизотропным материалам, что обуславливается их непостоянной структурой при различных нагрузках. Их значения коэффициента Пуассона могут иметь как положительные, так и отрицательные значения, в отличие от изотропных материалов.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, орудия промышленного рыболовства представляют из себя сложные конструкции, состоящие из различных элементов. Постройку орудия лова, в какой-то степени можно сравнить с постройкой жилого дома, конструкция которого состоит из бетонного фундамента, железобетонных перекрытий, кирпичных стен и деревянной крыши. Каждая часть данной конструкции должна выдерживать определенные заданные нагрузки [1]. Так и орудие промышленного рыболовства, состоящее из различных конструктивных элементов, должны в полной мере выдерживать внешние и внутренние нагружения.

Орудия промышленного лова, по сравнению с домом, дополнительно имеет одно значительное свойство, это изменение форм во время эксплуатации. За счет натяжения канатно-веревочных элементов такелажа и оснастки, происходит перераспределение нагрузок в данных элементах, что влечет за собой асимметричность формы орудия лова [2].

Вернувшись к сравнению конструкции орудия лова с домом, немало важно учитывать прочность элементов и изменению их свойств под влиянием нагрузок [3].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В изучении физико-механических свойств рыболовных нитевидных материалов, при изменении линейных размеров под влиянием различных нагрузок, важную роль можно отнести к коэффициенту Пуассона.

Коэффициент Пуассона (μ) представляет из себя физическую характеристику материала упругого тела, равную отношению абсолютных значений относительной поперечной деформации элемента тела к его относительной продольной деформации (1).

$$\mu = -\frac{\Delta d}{d} \times \frac{l}{\Delta l}, \quad (1)$$

где Δd - поперечное сжатие, d - поперечный размер (диаметр) до деформации, l - длина до деформации, Δl - продольное удлинение.

$$\Delta d = d' - d, \quad (2)$$

где d' - диаметр после деформации.

$$\Delta l = l' - l, \quad (3)$$

где l' - длина после деформации.

При растяжении прямоугольного параллелепипеда в направлении оси y имеют место вдоль этой оси удлинение, а вдоль перпендикулярных осей x и z - сжатие, т. е. сужение его поперечного сечения. Для изотропного тела величина коэффициент Пуассона не меняется ни при замене растяжения сжатием, ни при перемене осей деформации. В анизотропных телах коэффициент Пуассона зависит от направления осей, также он вместе с одним из модулей упругости определяет все упругие свойства анизотропного тела.

Коэффициент Пуассона имеет зависимость от материала тела и является одной из важных постоянных, характеризующих его упругие свойства. Не обязательно выделять случай сжимающих сил, т.к. её можно рассматривать как растягивающую, но взятую с противоположным знаком [4].

Коэффициент Пуассона определяется экспериментальным путем и представляет собой безразмерный коэффициент пропорциональности, который характеризует свойства материала [5].

Значения коэффициента для анизотропных материалов могут иметь большие положительные и отрицательные значения [6]. Причем положительные значения могут выходить за рамки известных для изотропных материалов ограничений, которые возникают в силу положительной определенности упругой энергии деформируемого материала [7].

В таблице 1 представлены некоторые значения коэффициента Пуассона для различных материалов.

Таблица 1

Некоторые значения коэффициента Пуассона для различных материалов

Материал	Коэффициент Пуассона (μ)
Железо	0,29
Сталь	0,3
Бетон	0,16
Резина	0,5
Стекло	0,2

На примере анизотропных материалов, к которым относятся рыболовные нитевидные изделия, показан краткий анализ изменений коэффициента Пуассона с различной прилагаемой нагрузки на материал.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В лаборатории экспертизы рыболовных материалов, на кафедре промышленного рыболовства ФГБОУ ВО "КГТУ", были проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента Пуассона таких рыболовных нитевидных материалов, как полиамид (ПА) разного диаметра:

- ПА 29Текс×3, диаметром (d) - 0,39 мм, разрывная прочность (Tr) - 44,12 Н;
- ПА 70Текс×3, диаметром (d) - 0,54 мм, разрывная прочность (Tr) - 93,16 Н;
- ПА 93,5Текс×3, диаметром (d) - 0,78 мм, разрывная прочность (Tr) - 176,51 Н;
- ПА 187Текс×3, диаметром (d) - 1,1 мм, разрывная прочность (Tr) - 392,31 Н;
- ПА 187Текс×3, диаметром (d) - 2,1 мм, разрывная прочность (Tr) - 686,46 Н;

Выбор данных материалов был обусловлен активностью его использования при постройки орудий промышленного рыболовства, а также возможностью максимально полного исследования в рамках данной работы [8]. Отбор образцов проходил по стандартной методике [9]. Все образцы перед началом исследования были выдержаны 24 часа в расправленном виде в помещении лаборатории, с целью принятия исходной структуры.

Для данного исследования было использовано следующее оборудование:

- окулярный микроскоп, с ценой деления 0,01 мм, для определения диаметра;
- металлическая линейка 500 мм (ГОСТ 427-75);
- грузы массой (Т) - 4,90 Н; 9,80 Н; 19,61 Н; 39,22 Н; 58,83 Н и 117,67 Н соответственно.

Перед началом исследований каждый отобранный образец проверялся на определение фактического диаметра. Диаметр каждого образца проверялся на окулярном микроскопе не менее 10 раз и было выведено среднеарифметическое значение.

На рис. 1 представлен окулярный микроскоп с образцом, закрепленным с одной стороны и подвешенным грузом с другой.



Рис. 1. Окулярный микроскоп с закрепленным образцом

Образец с одного конца закреплялся в неподвижном зажиме окулярного микроскопа, проводился непосредственно под окуляром, через блок пропускался свободный конец образца с предварительно отмеченным участком длиной 100 мм. для определения относительного удлинения, и подвешивался груз. Была проведена серия экспериментов с каждым используемым грузом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Опыты проводились по 10 раз на каждый вес груза (Т). В таблицах 2-6 представлены среднеарифметические значения полученных результатов.

Таблица 2

Полученные значения ПА d-0,39 мм

груз, Н, (Т)	средний диаметр, мм, (d')	относительное изменение диаметра, %	относительное удлинение, %	коэффициент Пуассона, μ	T/Tr, Н, (Р)
4,90	0,382	2,06	3	0,66	0,111
9,80	0,370	5,13	7	0,72	0,222
19,61	0,334	14,36	11	1,27	0,444
29,41	0,323	17,18	13	1,31	0,666

Таблица 3

Полученные значения ПА d-0,54 мм

груз, Н, (Т)	средний диаметр, мм, (d')	относительное изменение диаметра, %	относительное удлинение, %	коэффициент Пуассона, μ	T/Tr, Н, (Р)
9,80	0,503	6,86	2	3,40	0,105
19,61	0,468	13,34	4	3,32	0,210
36,22	0,439	18,71	9	2,07	0,420
58,83	0,411	23,89	12	1,98	0,631

Таблица 4

Полученные значения ПА d-0,85 мм

груз, Н, (Т)	средний диаметр, мм, (d')	относительное изменение диаметра, %	относительное удлинение, %	коэффициент Пуассона, μ	Т/Тр, Н, (Р)
4,90	0,724	7,18	1	7,10	0,027
19,61	0,642	17,69	6	2,93	0,111
58,83	0,614	21,28	11	1,92	0,333
117,67	0,588	24,61	14	1,75	0,666

Таблица 5

Полученные значения ПА d-1,1 мм

груз, Н, (Т)	средний диаметр, мм, (d')	относительное изменение диаметра, %	относительное удлинение, %	коэффициент Пуассона, μ	Т/Тр, Н, (Р)
19,61	1,078	2	1	2	0,049
39,22	1,013	7,91	4	1,97	0,099
58,83	0,993	9,73	5	1,94	0,149
117,67	0,954	13,28	7	1,88	0,299

Таблица 6

Полученные значения ПА d-2,0 мм

груз, Н, (Т)	средний диаметр, мм, (d')	относительное изменение диаметра, %	относительное удлинение, %	коэффициент Пуассона, μ	Т/Тр, Н, (Р)
39,22	1,919	8,62	2	4,30	0,057
58,83	1,884	10,29	4	2,55	0,085
117,67	1,855	11,67	10	1,16	0,171

На рисунке 2 изображена графическая зависимость коэффициента Пуассона ($\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \mu_5$) от отношения разрывной прочности изделия к грузу (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5) всех 5 исследуемых образцов.

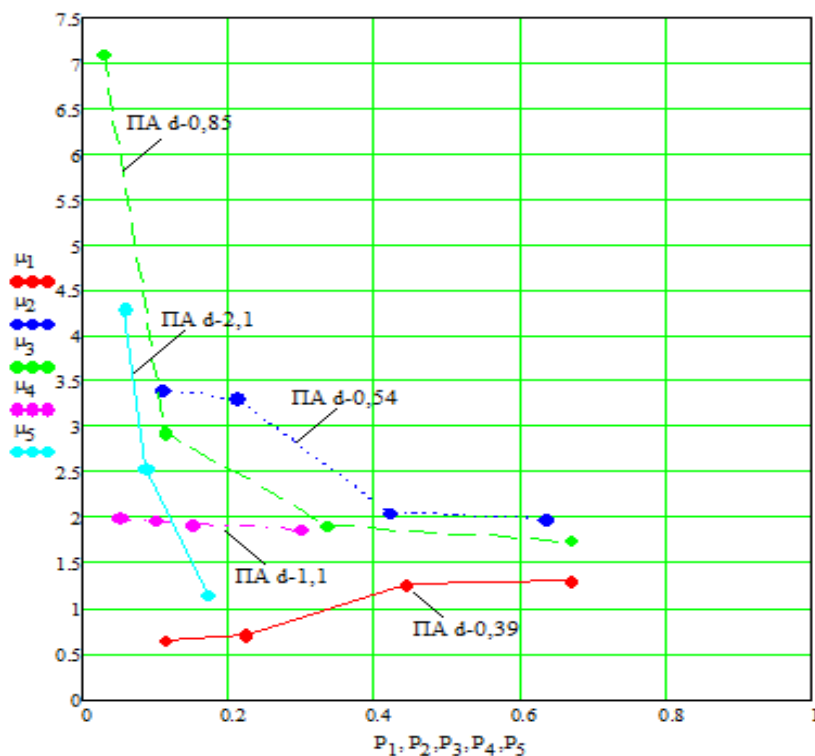


Рис. 2. Графическая зависимость полученных результатов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На рис. 2 видно, что зависимость коэффициента Пуассона от отношения разрывной прочности имеет динамические изменения, которые предположительно сводятся к одному примерному значению.

Данные исследования, позволяют нам с большой долей вероятности утверждать, что анизотропные материалы, такие как рыболовные нитевидные материалы, не имеют одного постоянно значения коэффициента Пуассона при различных моментах нагружения, но при достижении определенного процентного соотношения разрывной нагрузки материала к прилагаемой нагрузке, данный коэффициент получит равное значение в пределах минимального значения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Туполев М.С. Конструкции гражданских зданий: учебник для вузов. - Москва: Изд-во Архитектура-С, - 2007. - 240 с.
2. Розенштейн М. М. Механика орудий рыболовства. - Калининград: Изд-во КГТУ, - 2000.– 362с.
3. Насенков, П.В. Экспериментальные исследования разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных веревочно-нитевидных изделий с различной скоростью разрыва и длиной исследуемых образцов / П.В. Насенков, А.А. Недоступ, В.А. Наумов // Известия Калининградского государственного технического университета. - 2020. - №58. - С. 35-48.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.1 - Москва: Физматлит, - 2005. - 560с.
5. Федосеев В.И. Сопротивление материалов. - Москва: МГТУ, - 2003. - 592с.
6. Гольдштейн, Р.В. Об отрицательности коэффициента Пуассона для анизотропных материалов / Р.В. Гольдштейн, В.А. Городцов, Д.С. Лисовенко // Доклады академии наук. Механика. - 2009. - Т. 429. - № 5. - С. 614-616.
7. Ting T.C.T. // Quart. J. Mech. Appl. Math. - 2005. - V. 58. №1. - P. 73-82.
8. Насенков, П.В. Экспериментальное исследование физико-механических свойств нитевидноверевочных изделий / П.В. Насенков // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: материалы V Междунар. науч.-техн. конф. – Владивосток. - 2018. - С. 144–147.
9. ГОСТ 6611.2-73 Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве. – Москва, 1997, - 35 с.

POISSON RATING FOR FISHING MATERIALS

Nasenkov Pavel Vladimirovich, Deputy Dean for Scientific Work of the Faculty of Commercial Fisheries.

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: pavel.nasenkov@klgtu.ru

Poisson's ratio for fishing materials is necessary to track changes in physical and mechanical properties in the course of changing loads. Filamentous materials used in fishing are known to be anisotropic materials, which is due to their variable structure under various loads. Their values of Poisson's ratio can have both positive and negative values, in contrast to isotropic materials.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФРИКЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (СЦЕПЛЕНИЯ) СИНТЕТИЧЕСКИХ НИТОК И ВЕРЕВОК О ПОВЕРХНОСТЬ БАРАБАНА

¹Недоступ Александр Алексеевич, доцент, канд. техн. наук

²Линзеев Владислав Александрович, студент,

³Акбутаев Асхат Алишеревич, студент

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹nedostup@klgtu.ru; ²mrgr0st710@gmail.com

Приводятся экспериментальные исследования фрикционного взаимодействия (сцепления) крученых синтетических ниток и веревок о поверхность барабана экспериментальной установки. При проведении экспериментов было зафиксировано на графиках, что наибольшая набегающая сила S_1 наблюдается при частоте оборотов вала двигателя $f_0 = 35$ Гц, эта частота была выбрана как среднее значение между минимальной и максимальной частотой оборотов экспериментальной установки.

Повышение надежности и сцепления фрикционного взаимодействия канатно-веревочных изделий, а также сетных деталей (КВИ) с поверхностью турачки или барабана неводовыборочной машины, управляемость неводовыборочными машинами (см. рис. 1) и «триплексами» и др. фрикционными промышленными механизмами (МФТ) является наиболее важной задачей для современного кошелькового промысла.



Рис. 1. Неводовыборочная машина траулера-сейнера «Ленинец»

Проскальзывание КВИ на поверхности барабана МФТ является отрицательным процессом, который влияет на износостойкость КВИ, а также на поверхность барабана МФТ, и на прочность КН в целом. Надежность и долговечность определяются прежде всего достаточной статической и динамической жесткостью и гибкостью сопрягаемых элементов и деталей, плавностью перемещения КВИ. Показатели точности и надежности должны закладываться при разработке механизмов фрикционного взаимодействия на стадии их проектирования. Жесткость МФТ характеризуется

жесткостью деталей (ребра жесткости на поверхности барабана), гибкость МФТ характеризуется гибкостью поверхности барабана (обрезиненный). Контактные перемещения (площадь фрикционного взаимодействия) значительно изменяют частоты собственных и вынужденных колебаний МФТ. Поэтому вопросы, связанные с фрикционным взаимодействием КВИ и поверхности МФТ являются актуальными особенно для эффективной эксплуатации кошелькового невода (КН) при выборке его сетной части, а также для проектирования МФТ, и помимо всего прочего, в конечном счете, определяет долговечность КВИ и самого КН, а также МФТ, в частности поверхности его барабана.

Этой проблеме посвящено множество работ ученых и практических инженеров. Однако широко изучены лишь вопросы, связанные с рассмотрением фрикционного взаимодействия КВИ и поверхности барабана МФТ в условиях статического нагружения [1,2]. При этом имеется много задач, решение которых бы позволило оценить влияние динамических нагрузок на свойство фрикционного контакта [3,4,5].

Выборка элементов орудий лова МФТ осуществляется в интервале угла обхвата $40^0 \leq \alpha \leq \infty$. Изменение угла обхвата α оказывает влияние на тяговое усилие МФТ [1]. Связь натяжений S_1 и S_2 представим в виде формулы Л. Эйлера

$$S_1 = S_2 e^{\mu c \alpha}, \quad (1)$$

где S_1 - натяжение набегающей ветви орудия лова; S_2 - натяжение сбегающей ветви орудия лова; μ - коэффициент трения; $a_n = c\alpha$; a_n - угол дуги покоя; c - коэффициент, зависящий от α и от отношения $\xi_1 = S_1/S_2$ [1]

$$c = f(\alpha, \xi_1). \quad (2)$$

В настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований фрикционного взаимодействия КВИ с барабаном МФТ для различных КВИ при значениях $\alpha = 180^0$. Исследования проводились на экспериментальной установке, созданной на кафедре промышленного рыболовства [1]. Введем допущения: барабан МФТ абсолютно жесткий; поверхность барабана МФТ - обработанная сталь; пренебрегаем деформациями КВИ, вызванными их весом; пренебрегаем влиянием эксцентриситета сил трения F между барабаном МФТ и КВИ по отношению к оси КВИ; форма сечения КВИ в пределах дуги контакта с барабаном МФТ не изменяется; материал КВИ - полиамид (капрон); угловая скорость барабана МФТ в экспериментах задавалась. Втулка барабана МФТ имела диаметр $D_0 = 104$ мм. Угол обхвата барабана МФТ составлял $\alpha = 180^0$ (см. рис. 2 и 3).



1 - мотор-редуктор; 2 - съёмный барабан;
3 - электронные весы; 4 - тензостанция MIC-200;
5 - тензодатчик; 6 - разновесы

Рис. 2. Экспериментальная установка

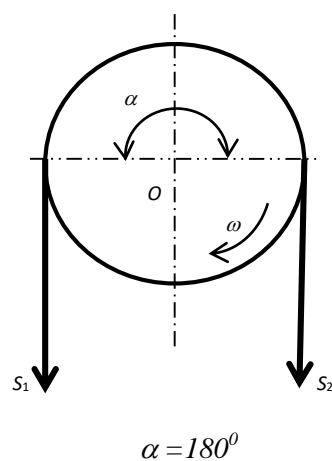


Рис. 3. Схема эксперимента

КВИ, которые использовались в экспериментах указаны в табл. 1.

Характеристики крученых КВИ

Материал	Диаметр d , мм
Полиамид	1,0
	2,0
	3,0
Полипропилен	1,0
	2,0
	3,0
Полиэфир	1,0
	2,0
	3,0

Частоты вращения барабана: 20 Гц, 35 Гц, 50 Гц. На рис. 4-6 приведены экспериментальные данные для полипропиленовой веревки $d=3$ мм при $0 \leq S_2 \leq 4,9$ Н, частота вращения вала двигателя экспериментальной установки $f_\delta=20$ Гц.

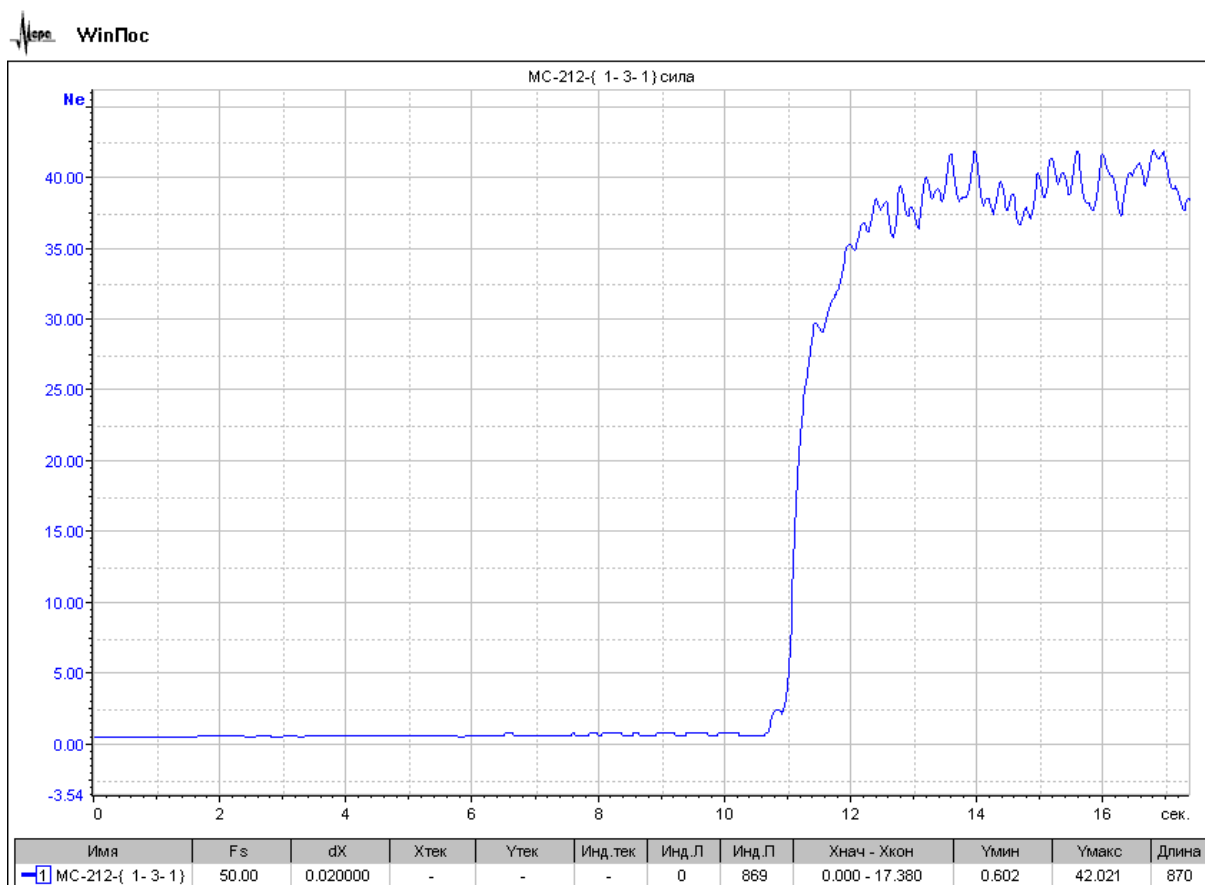


Рис. 4. Зависимость $S_1=f(t)$ при $S_2=0$ Н

Также были получены зависимости $S_1=f(t)$ для полиамида и полиэфира при различных нагрузках S_2 и для угловой скорости вращения втулки барабана МФТ ω_δ . На основе полученных данных было установлено, что наибольший коэффициент трения μ наблюдается у полипропилена при частоте 35 Гц, при $S_2=4,9$ Н, после идет полиэфир и полиамид (см. рис. 7-9). Последние два образца при частотах $f_\delta=20$ Гц и $f_\delta=50$ Гц практически равны между собой.

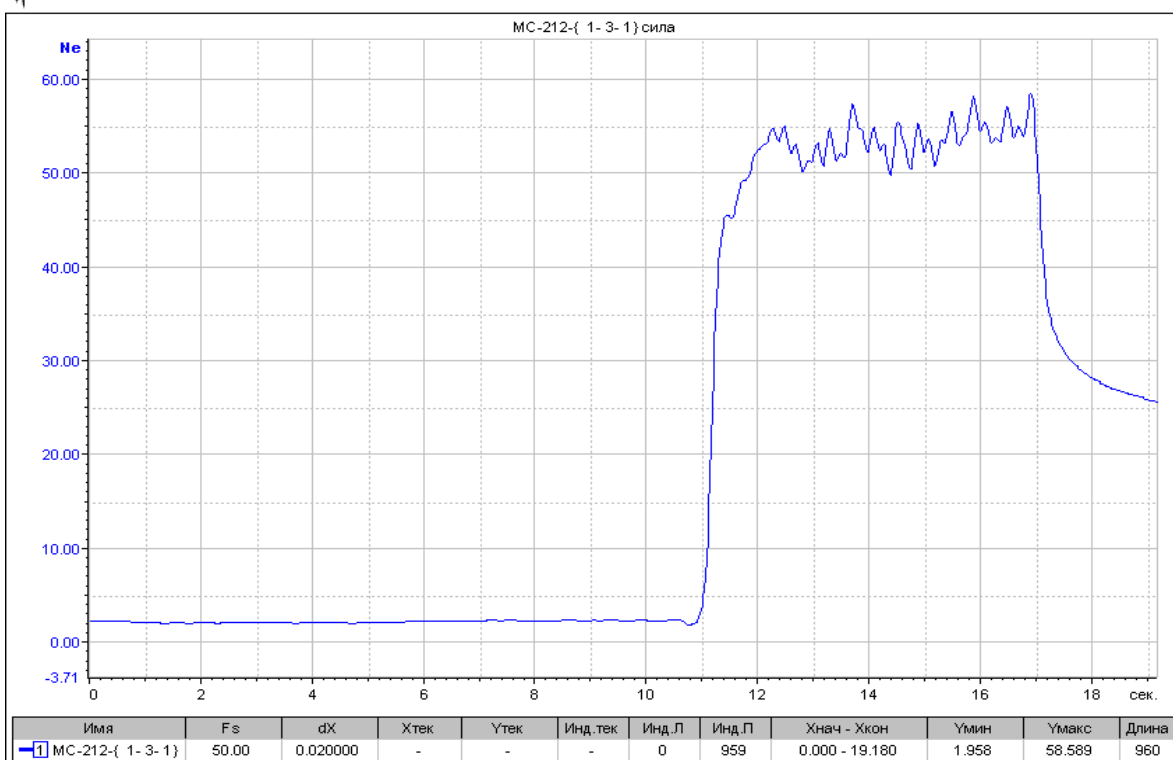


Рис. 5. Зависимость $S_1=f(t)$ при $S_2=1,9H$

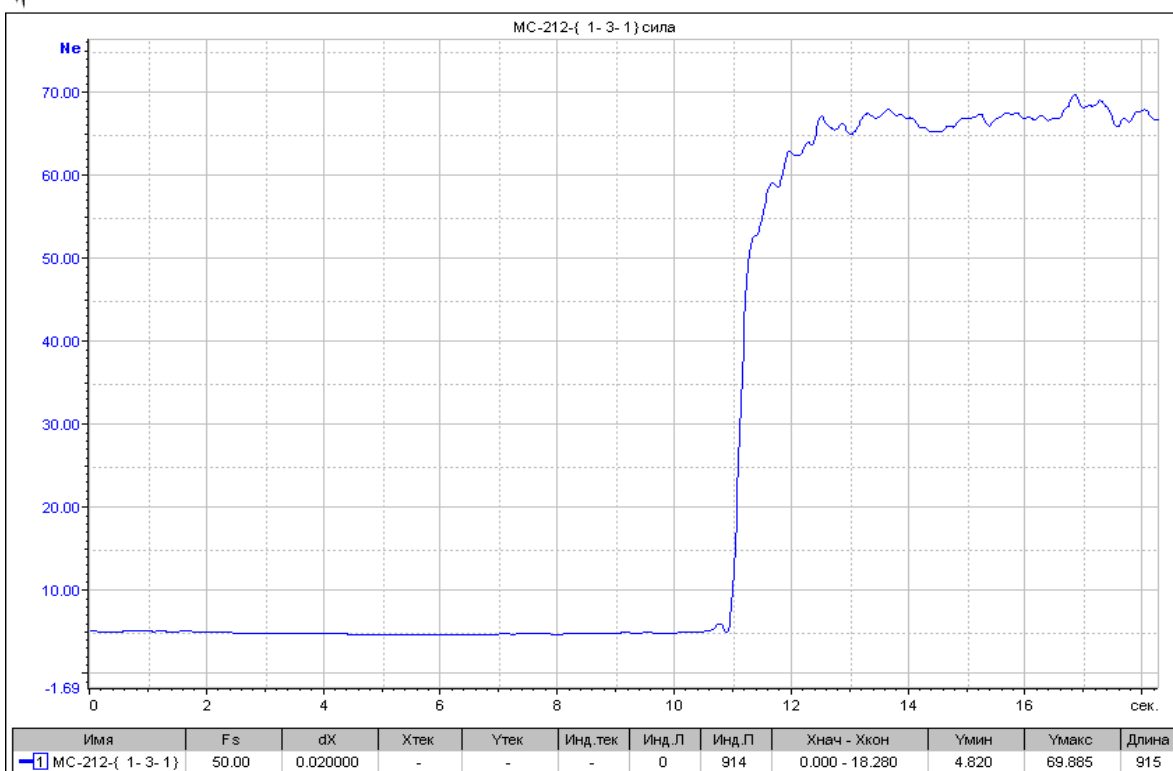


Рис. 6. Зависимость $S_1=f(t)$ при $S_2=4,9H$

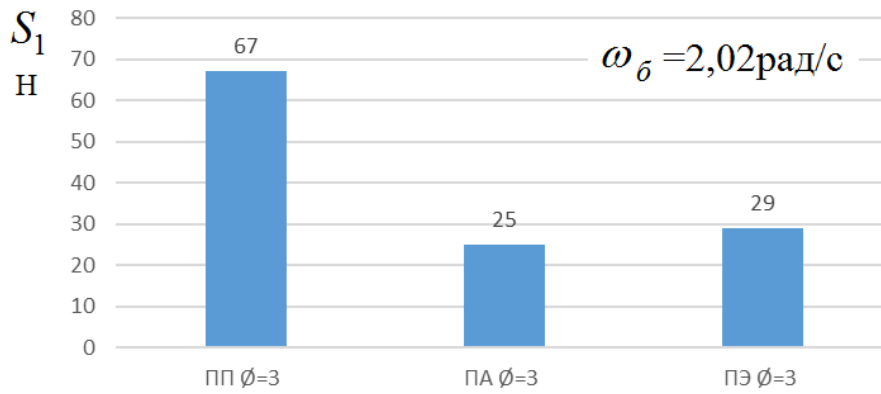


Рис. 7. Диаграмма $S_1=f(\omega_\delta, \text{материал КВИ})$ при $S_2=4,9H$ и $f_\delta=20Гц$

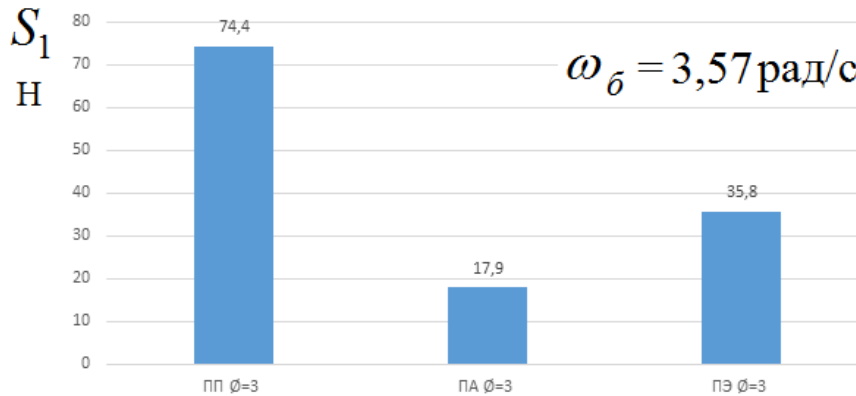


Рис. 8. Диаграмма $S_1=f(\omega_\delta, \text{материал КВИ})$ при $S_2=4,9H$ и $f_\delta=35Гц$

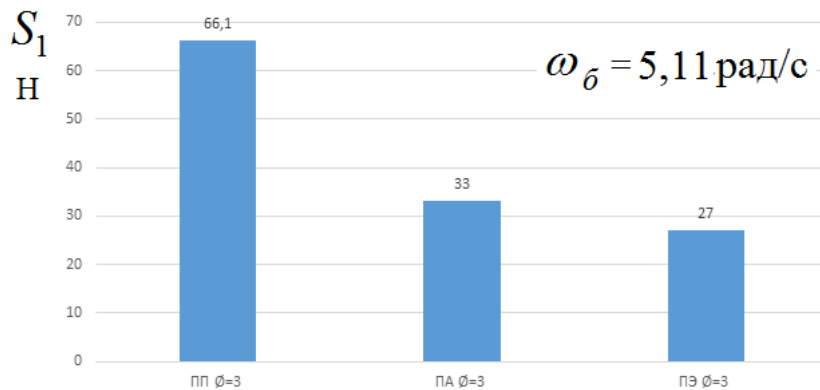


Рис. 9. Диаграмма $S_1=f(\omega_\delta, \text{материал КВИ})$ при $S_2=4,9H$ и $f_\delta=50Гц$

При проведении экспериментов было зафиксировано на графиках, что наибольшая набегающая сила (тяга) S_1 наблюдается при частоте оборотов вала двигателя $f_\delta=35Гц$, эта частота была выбрана нами как среднее значение между минимальной и максимальной частотой оборотов экспериментальной установки (см. рис. 2).

На основании графиков зависимости $S_1=f(t)$ (см. рис. 4-6) возможно определить производительность силы S_1 [4,5]

$$H_{S_1} = \frac{S_1 v}{t}, \quad (3)$$

где v - окружная скорость КВИ; t - время процесса фрикционного взаимодействия (на рис. 4-6 время процесса выборки КВИ начинается с 11 сек).

Производительность крутящей силы барабана МФТ соответствует [4, 5]

$$H_\delta = \frac{N_\delta}{t}, \quad (4)$$

где N_δ - мощность на валу барабана.

Мощность на валу барабана МФТ N_{δ} определим из выражения

$$N_{\delta} = M_{\delta} \omega_{\delta}, \quad (5)$$

где M_{δ} - крутящий момент вала барабана, Нм; ω_{δ} - угловая скорость вращения вала барабана, рад/с.

Запишем выражение, связывающее окружную и радиальную скорости

$$v = \omega_{\delta} r_{\delta}, \quad (6)$$

где r_{δ} - радиус втулки барабана МФТ, $r_{\delta} = D_0/2$.

Без нагрузки на барабане МФТ мощность соответствует $N_{\delta} = \text{const}$ при $M_{\delta} = \text{const}$ и $\omega_{\delta} = \text{const}$, но при нагрузке $N_{\delta} \neq \text{const}$, $M_{\delta} \neq \text{const}$ и $\omega_{\delta} \neq \text{const}$. К примеру, неводовыборочные машины несмотря на большое многообразие конструкций и выполняемых операций, могут быть классифицированы по виду зависимости статического момента от ряда факторов: угловой скорости вращения втулки барабана, угла сцепки (соприкосновения КВИ с поверхностью барабана), формы поверхности втулки барабана, материала втулки барабана. Причем статический момент для таких МФТ изменяется во времени t . При проектировании привода МФТ зависимости статического момента $M_c(t)$ и $f_{\delta}(t)$ являются либо заданными, либо в техническом задании на проектирование содержатся данные, достаточные для их расчета и построения.

Для увеличения КПД МФТ η необходимо проработать вопрос значений производительности сил N_{S1} и N_{δ} , а именно (при условии наличия сцепки (нет проскальзывания КВИ по поверхности барабана МФТ, запаса по перегрузочной способности и по нагреву) [4]

$$\eta = \frac{N_{S1}}{N_{\delta}}, \quad (7)$$

или с учетом (3) - (7), получим

$$\eta = \frac{S_1 r_{\delta}}{M_{\delta}}. \quad (8)$$

Необходимости в определении производительности сил N_{S1} и N_{δ} :

- во-первых это необходимая процедура при разработке и сертификации любого нового двигателя МФТ, а также его барабана;

- во-вторых эти данные помогут при дальнейшей настройке и доработке двигателя МФТ, а также его барабана, чтобы добиться наилучших эксплуатационных характеристик;

- в третьих, кривые производительности сил N_{S1} и N_{δ} , если их сравнить - это прямой показатель КПД МФТ η .

На основании выражения (1) и выражения коэффициента трения (сцепления) μ [1]

$$\mu = 0,6 \sqrt{\frac{\left(\frac{S_1}{S_2} - 1\right)}{\alpha}}, \quad (9)$$

определим значения μ и c для условий экспериментов (см. табл. 2).

Таблица 2

Экспериментальные значения при $\alpha = 180$ град

Материал КВИ	Диаметр d , мм	Частота вращения вала двигателя F_{δ} , Гц	Угловая скорость барабана ω_{δ} , рад/с	Сила S_1 , Н	Сила S_2 , Н	Коэффициент трения (сцепки) μ	Коэффициент дуги покоя c
Полиэфир	1,0	20,0	2,02	3	0	1,82	0,9976
				5,3	1,9	0,45	0,7256
				18,1	4,9	0,55	0,7562
	35,0	3,57	3,57	1,5	0	1,26	1,2658
				5,25	1,9	0,44	0,7353
				13,3	4,9	0,44	0,7224
	50,0	5,11	5,11	1,8	0	1,39	1,1892
				10,5	1,9	0,72	0,7558
				17,7	4,9	0,54	0,7571

Материал КВИ	Диаметр d , мм	Частота вращения вала двигателя F_{ω} , Гц	Угловая скорость барабана ω_{ω} , рад/с	Сила S_1 , Н	Сила S_2 , Н	Коэффициент трения (сцепки) μ	Коэффициент дуги покоя c
Полиэфир	2,0	20,0	2,02	3,5	0	1,97	0.9465
				7,8	1,9	0,59	0.7619
				19	4,9	0,57	0.7568
	35,0	3,57	7,5	0	2,91	0.7241	
			8,4	1,9	0,62	0.7631	
			14,6	4,9	0,47	0.7394	
	50,0	5,11	4,4	0	2,21	0.8767	
			8,6	1,9	0,63	0.7629	
			15	4,9	0,48	0.7419	
Полиэфир	3,0	20,0	2,02	7,5	0	2,91	0.7241
				13,2	1,9	0,82	0.7524
				29	4,9	0,75	0.8227
	35,0	3,57	16,6	0	4,34	0.5438	
			23,3	1,9	1,3	0.6138	
			35,8	4,9	0,85	0.7447	
	50,0	5,11	10,1	0	3,38	0.6515	
			15,9	1,9	0,91	0.7431	
			27	4,9	0,71	0.7651	
Полиамид	1,0	20,0	2,02	2	0	1,47	1.1473
				9,3	1,9	0,66	0.766
				17,5	4,9	0,54	0.7504
	35,0	3,57	2,4	0	1,62	1.0769	
			5,5	1,9	0,46	0.7355	
			19	4,9	0,57	0.7568	
	50,0	5,11	2,8	0	1,76	1.0191	
			9	1,9	0,65	0.7617	
			18,7	4,9	0,56	0.7613	
Полиамид	2,0	20,0	2,02	2,1	0	1,5	1.1347
				5,5	1,9	0,46	0.7355
				16	4,9	0,5	0.7533
	35,0	3,57	5,8	0	2,55	0.7943	
			7,5	1,9	0,58	0.7535	
			16	4,9	0,5	0.7533	
	50,0	5,11	1	0	1,01	1.4514	
			7,5	1,9	0,58	0.7535	
			18,4	4,9	0,56	0.7521	
Полиамид	3,0	20,0	2,02	7,5	0	2,91	0.7241
				16,6	1,9	0,94	0.734
				25	4,9	0,68	0.7628
	35,0	3,57	20	0	4,77	0.5072	
			26,6	1,9	1,22	0.6886	
			17,9	4,9	0,55	0.7498	
	50,0	5,11	7,5	0	2,91	0.7241	
			21,7	1,9	1,09	0.703	
			33	4,9	0,81	0.7495	

Материал КВИ	Диаметр d , мм	Частота вращения вала двигателя F_{ω} , Гц	Угловая скорость барабана ω_{ω} , рад/с	Сила S_1 , Н	Сила S_2 , Н	Коэффициент трения (сцепки) μ	Коэффициент дуги покоя c
Полипропилен	1,0	20,0	2,02	1,1	0	1,07	1.3983
				9	1,9	0,65	0.7617
				23,7	4,9	0,66	0.7602
	35,0	3,57	0,7	0	0,82	1.6492	
			8,4	1,9	0,62	0.7631	
			25,6	4,9	0,69	0.7627	
	50,0	5,11	0,5	0	0,67	1.8586	
			7	1,9	0,55	0.7547	
			23,5	4,9	0,65	0.7677	
Полипропилен	2,0	20,0	2,02	0,9	0	0,95	1.5077
				8	1,9	0,6	0.7627
				24	4,9	0,66	0.7663
	35,0	3,57	1,3	0	1,17	1.3243	
			10	1,9	0,7	0.7552	
			21,5	4,9	0,62	0.7592	
	50,0	5,11	3,4	0	1,94	0.9564	
			11	1,9	0,74	0.7554	
			11,5	4,9	0,39	0.6963	
Полипропилен	3,0	20,0	2,02	29,9	0	5,84	0.4362
				55,1	1,9	1,79	0.5988
				67,3	4,9	1,2	0.695
	35,0	3,57	28,9	0	5,74	0.4419	
			51,2	1,9	1,72	0.6096	
			74,4	4,9	1,27	0.6818	
	50,0	5,11	38,1	0	6,59	0.3983	
			51,5	1,9	1,72	0.6107	
			66,1	4,9	1,19	0.696	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ А.А., Орлов Е.К. Исследование статического коэффициента трения рыболовных канатно-веревочных изделий на барабане механизма фрикционного типа. Трение и износ. 2010. - Том 31. - №4. - С. 403-411.

2. Nedostup A.A., Orlov E.K. Study of the Static Coefficient of Friction of Fishing Cordage on a Friction Gear Drum. Journal of Friction and Wear. - 2010. - Vol. 31. - No. 4. - pp. 301-307.

3. Недоступ А.А., Ражев А.О. Компьютерное моделирование процесса выборки орудия рыболовства с помощью барабана фрикционного типа// Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орел. №.5(301). 2013. - С. 53-58.

4. Недоступ А.А., Ражев А.О. Производительность сил траловой системы: Постановка задачи. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. №2. - 2021. - С. 55-65.

5. Недоступ А.А., Ражев А.О. Производительность сил траловой системы: Физическое моделирование. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. №3. - 2021. - С.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE FRICTIONAL INTERACTION (CLUTCH) OF SYNTHETIC THREADS AND ROPES

¹Nedostup Aleksandr Alekseevich, associate professor, PhD in Technical Sciences

²Linzeev Vladislav Alexandrovich, student

³Akbutaev Askhat Alisherovich, student

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹ nedostup@klgtu.ru; ²mrgr0st710@gmail.com

This article presents experimental studies of the frictional interaction (adhesion) of twisted synthetic threads and ropes on the surface of the drum of the experimental setup. During the experiments, it was recorded on the graphs that the greatest incident force S_1 is observed at the frequency of the engine shaft revolutions $f_0=35\text{Hz}$, this frequency was chosen as the average value between the minimum and maximum revolutions of the experimental setup.

УДК 639.2.081

УПРАВЛЕНИЕ МАСШТАБНЫМ ЭФФЕКТОМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ПРОЦЕССА ПОГРУЖЕНИЯ СФЕРЫ

¹Недоступ Александр Алексеевич, доцент, канд. техн. наук

²Макаров Вячеслав Валерьевич, зав. лабораторией УИЛ САПР техники промышленного рыболовства

³Ражев Алексей Олегович, мл. науч. сотрудник, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹nedostup@klgtu.ru; ²vyacheslav.makarov@klgtu.ru;

³progacpp@live.ru

Рассматривается метод управления величиной масштабного эффекта при выполнении мультифизического подобия процесса погружения шаров. Для управления величиной масштабного эффекта разработана компьютерная программа «Масштабные эффекты при мультифизического подобия процессов рыболовства».

Процесс погружения кошелькового невода, является динамическим процессом, на который влияет множество факторов, такие как гидродинамические силы, вес невода и загрузки, связь с судном, погодные условия. В совокупности этих факторов кошельковый лов является одним из самых сложных в работе и имеет большой процент пустых заметов.

При изучении процессов работы орудий лова применяются различные методы исследований, такие как теоретические, экспериментальные, модельные методы. Теоретические методы исследования в основном заключаются в описании конечных или дифференциальных уравнений и последующем их решении. Экспериментальные методы разделяются на два вида исследований - натурные и модельные. При проведении натурных исследований можно собрать наиболее полные данные о протекающем процессе, что дает большую возможность для последующей обработки полученных результатов. Не смотря на большой плюс в собираемой таким методом информации, приближенной к реальным условиям, метод имеет и недостатки, такие как высокая стоимость затрат на организацию и проведение исследований, временем проведения, трудоемкостью работ, влияние второстепенных факторов на исследуемый процесс. Второй метод экспериментальных исследований - это

проведение экспериментов с физическими моделями орудий лова. Такие исследования основаны на схематизации процесса и применении условий подобия для моделирования орудия лова. Данный метод исследования позволяет с меньшими затратами провести аналогичные, натурным, эксперименты, исключить второстепенные факторы влияющие на исследуемый процесс, и получить экспериментальные данные для дальнейшей обработки, но в результатах таких исследований присутствует погрешность.

Для управления величиной масштабного эффекта при выполнении мультифизического подобия проведем опыты с шарами, имитирующие погружение загрузки нижней подборы кошелькового невода (табл. 1 и 2) [1]. Проведем сравнение полученных результатов на основании математического и физического моделирования погружения шара в жидкости (воде) с учетом и без учета бокового течения. Характеристики шара-натуры представлены в табл. 1. Погружение шаров без бокового течения и с учетом бокового течения проводилось в гидроканале ЗАО «МариНПО» (г. Калининград).

Таблица 1

Характеристики шара-натуры

Диаметр шара $D_{н_2}$ мм	Вес в воде шара $q_{шн_2}$ Н	Масса шара $M_{н_2}$ кг	Объемный вес шара $\gamma_{н_2}$ Н/м ³	Материал
80	0,058	0,274	10030	Пластик с загрузкой

Таблица 2

Масштабы моделирования процесса погружения сферы

C_l	C_v	C_R	C_t	C_w	C_γ	C_m	C_ρ	C_v
0,5	1,189	0,354	0,42	2,828	1,039	0,13	1,0	1,0

Примечание: обозначения масштабов

Геометрический параметр (длина, высота, ширина и др.)

Масса

Время

Скорость

Сила

Ускорение

Объемный вес

Плотность воды

Кинематическая вязкость воды

C_l

C_m

C_t

C_v

C_R

C_w

C_γ

C_ρ

C_v

C_l

C_l^3

$C_l^{5/4}$

$C_l^{-1/4}$

$C_l^{3/2}$

$C_l^{-3/2}$

$C_l^{-3/2}$

1

$C_l^{3/4}$

Таблица 3

Характеристики шара-модели

Диаметр шара $D_{м_2}$ мм	Вес в воде шара $q_{шм_2}$ Н	Масса шара $M_{м_2}$ кг	Объемный вес шара $\gamma_{м_2}$ Н/м ³	Материал
40	0,021	0,036	10420	Пластик с загрузкой

Экспериментальные данные погружения шаров представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Экспериментальные данные процесса погружения сферы (без учета течения)

Шар	Y_s м	$C_l Y_{H_s}$ м	t_s с	$C_l t_{H_s}$ с
Натура	2,12	-	8,5	-
Модель	1,06	1,06	3,5	3,6

Примечание. $Y_H=2,12$ м - глубина гидроканала ЗАО «МариНПО».

Таблица 5

Экспериментальные данные процесса погружения сферы (с учетом течения)

Шар	v_s м/с	Y_s м	X_s м	$C_l Y_{H_s}$ м	$C_l X_{H_s}$ м	t_s с	$C_l t_{H_s}$ с
Натура	0,14	2,12	1,18	-	-	10,0	-
Модель	0,16	1,06	0,6	1,06	0,59	4,1	4,2

Примечание: v - скорость течения воды в гидроканале ЗАО «МариНПО»; X - перемещение по оси ОХ шара.

На основании экспериментальных данных (табл. 4 и 5) физического моделирования погружения шара можно утверждать, что ошибка моделирования составляет по геометрическим параметрам 0% и времени не более 3%. Ошибку по моделированию гидродинамической силы определим на основании математического моделирования процесса погружения шара. Исходя из уравнения динамики погружения шара

$$M \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{q} + \vec{F}_A + \vec{R} + \vec{F}_M \quad (1)$$

где F_A - сила Архимеда; R - гидродинамическая сила; F_M - сила, обусловленная присоединенной массой.

При математическом моделировании погружения шара использовалась формула Озеена по определению коэффициента сопротивления [2]

$$c_x = \frac{24}{Re} (1 + 0,179\sqrt{Re} + 0,013Re) \quad \text{при } Re \leq 1478 \quad (2)$$

Проведены численные вычисления на основании (1) зависимости глубины погружения (перемещения) шара от времени $Y_H=f(t_H)$ и $Y_M/C_l=f(t_M/C_l)$ (рис. 1) и скорости погружения шара от времени без бокового течения $v_H=f(t_H)$ и $v_M/C_v=f(t_M/C_l)$ (см. рис. 2 и 3) [3]. При условии физического моделирования процесса гидроканала ЗАО «МариНПО» $C_D=1$.

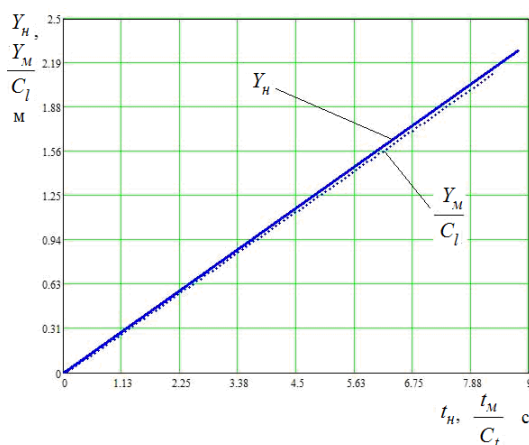


Рис. 1. Графики зависимостей $Y_H=f(t_H)$ и $Y_M/C_l=f(t_M/C_l)$ (без бокового течения)

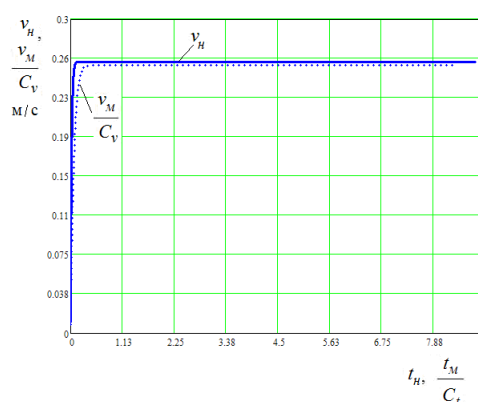


Рис. 2. Графики зависимостей $v_H=f(t_H)$ и $v_M/C_v=f(t_M/C_l)$ (без бокового течения) для диапазона $0 \leq t_H \leq 9$ с

На рис. 4 и 5 приведены графики зависимостей $c_{xH}=f(Re_H)$ и $c_{xM}=f(Re_M)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы (1) без бокового течения при условии физического моделирования процесса гидроканала ЗАО «МариНПО» $C_v=1$.

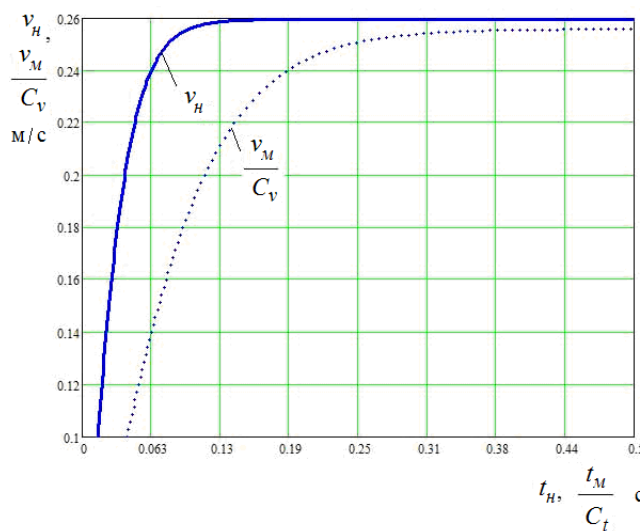


Рис. 3. Графики зависимостей $v_H=f(t_H)$ и $v_M/C_v=f(t_M/C_t)$ (без бокового течения) для диапазона $0 \leq t_H \leq 0,5$ с

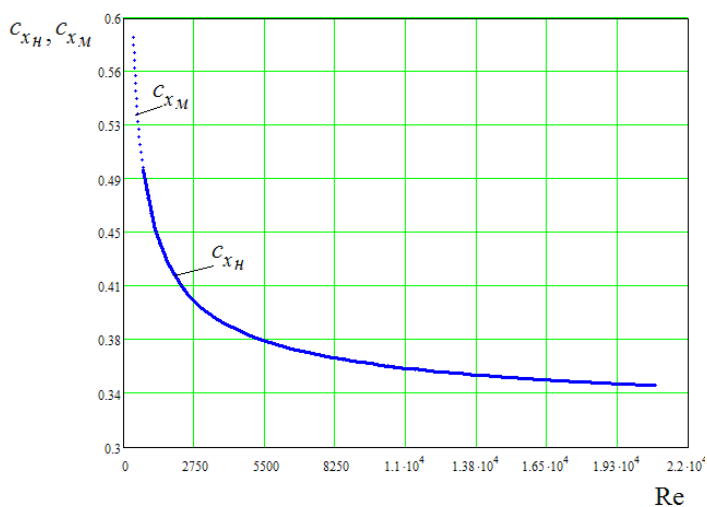


Рис. 4. Графики зависимостей $c_{xH}=f(Re_H)$ и $c_{xM}=f(Re_M)$ (без бокового течения) для диапазона $0 \leq Re \leq 22 \cdot 10^3$

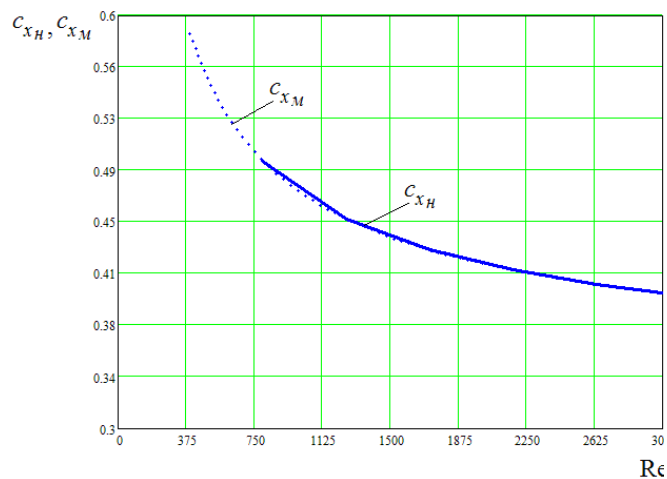


Рис. 5. Графики зависимостей $c_{xH}=f(Re_H)$ и $c_{xM}=f(Re_M)$ (без бокового течения) для диапазона $0 \leq Re \leq 3 \cdot 10^3$

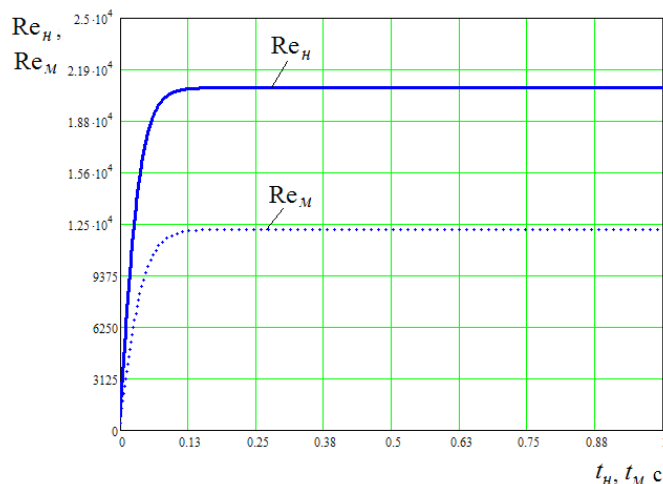


Рис. 6. Графики зависимостей $Re_H=f(t_H)$ и $Re_M=f(t_M)$ (без бокового течения) для диапазона $0 \leq t \leq 1,0$ с ($C_v=1$)

На рис. 6 приведены графики зависимостей $Re_H=f(t_H)$ и $Re_M=f(t_M)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы без бокового течения при условии физического моделирования процесса гидроканала ЗАО «МариНПО» $C_v=1$. На рис. 7 - графики зависимостей $Re_H=f(t_H)$ и $Re_M=f(t_M)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы без бокового течения при условии $C_v=C_l^{3/4}$.

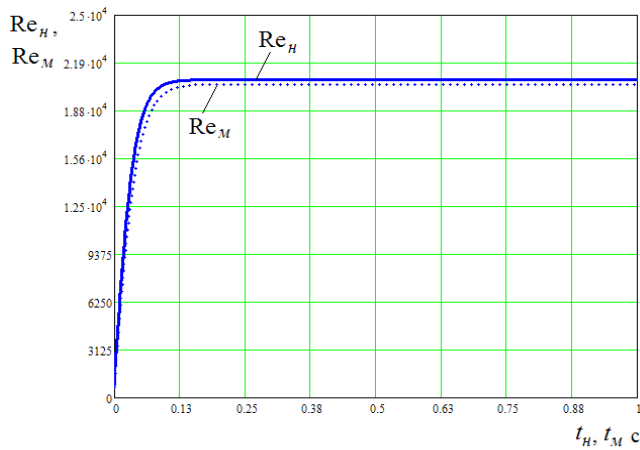


Рис. 7. Графики зависимостей $Re_n=f(t_n)$ и $Re_m=f(t_m)$ (без бокового течения) для диапазона $0 \leq t \leq 1,0$ с (учитывался масштаб $C_v=C_l^{3/4}$)

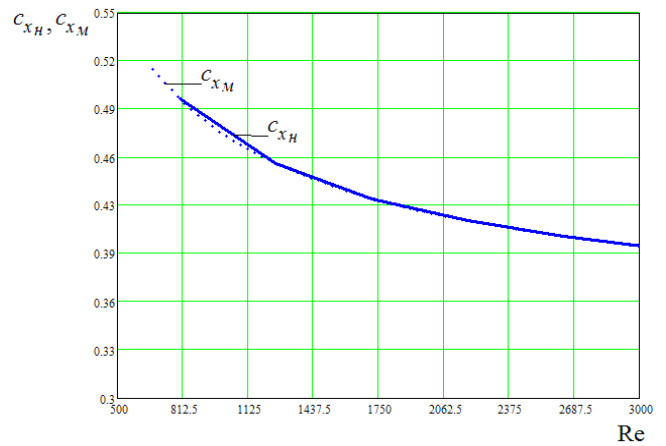


Рис. 8. Графики зависимостей $c_{xn}=f(Re_n)$ и $c_{xm}=f(Re_m)$ (без бокового течения) для диапазона $0 \leq Re \leq 3 \cdot 10^3$ (учитывался масштаб $C_v=C_l^{3/4}$)

На рис. 8 приведены графики зависимостей $c_{xn}=f(Re_n)$ и $c_{xm}=f(Re_m)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы (1) без бокового течения с учетом $C_v=C_l^{3/4}$. Также проведены численные вычисления зависимости глубины погружения (перемещения) шара от перемещения по горизонтали $Y_n=f(X_n)$ и $X_m/C_l=f(X_m/C_l)$ (см. рис. 9), глубины погружения (перемещения) шара от времени $Y_n=f(t_n)$ и $Y_m/C_l=f(t_m/C_l)$ (см. рис. 10) и скорости погружения шара от времени с боковым течением $v_n=f(t_n)$ и $v_m/C_v=f(t_m/C_l)$ (см. рис. 11). При условии физического моделирования процесса гидроканала ЗАО «МариНПО» $C_v=1$.

На рис. 12 приведены графики зависимостей $c_{xn}=f(Re_n)$ и $c_{xm}=f(Re_m)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы (1) с боковым течением при условии физического моделирования процесса гидроканала ЗАО «МариНПО» $C_v=1$.

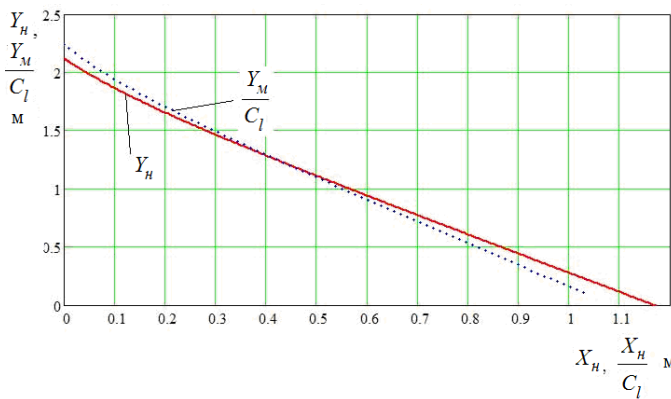


Рис. 9. Графики зависимостей $Y_n=f(X_n)$ и $Y_m/C_l=f(X_m/C_l)$ (с боковым течением)

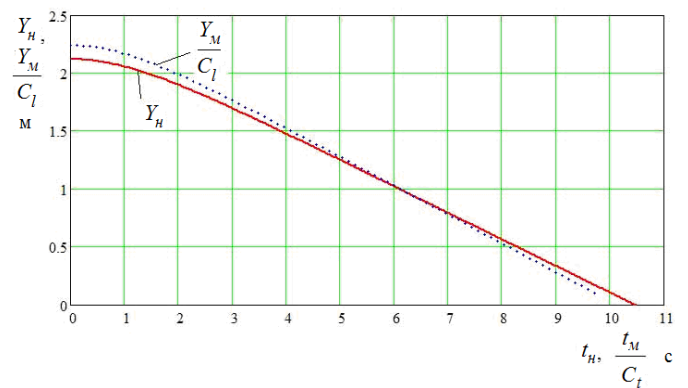


Рис. 10. Графики зависимостей $Y_n=f(t_n)$ и $Y_m/C_l=f(t_m/C_l)$ (с боковым течением)

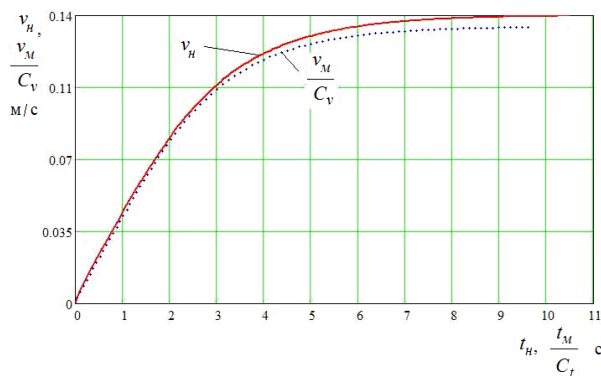


Рис. 11. Графики зависимостей $v_n=f(t_n)$ и $v_m/C_v=f(t_m/C_l)$ (с боковым течением)

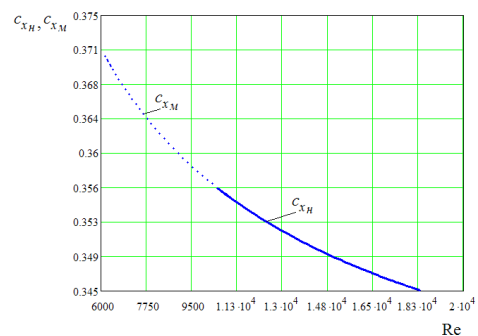


Рис. 12. Графики зависимостей $c_{xn}=f(Re_n)$ и $c_{xm}=f(Re_m)$ (с боковым течением) для диапазона $0,345 \leq Re \leq 2 \cdot 10^3$

На рис. 13 изображены графики зависимостей $Re_H=f(t_H)$ и $Re_M=f(t_M)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы с боковым течением при условии физического моделирования процесса гидроканала ЗАО «МариНПО» $C_v=1$. На рис. 14 приведены графики зависимостей $Re_H=f(t_H)$ и $Re_M=f(t_M)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы с боковым течением при условии $C_v=C_l^{3/4}$.

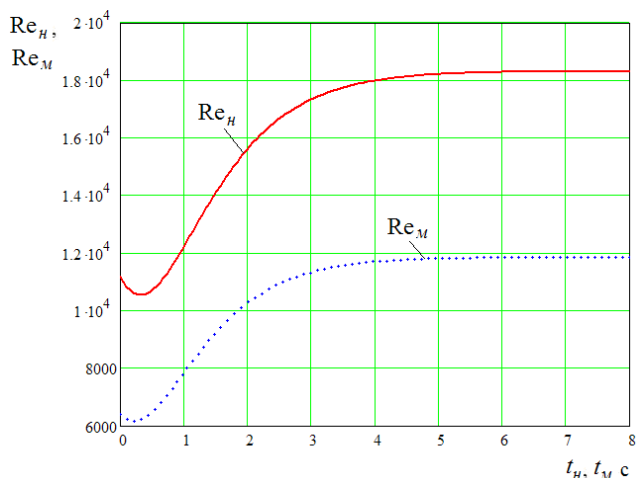


Рис. 13. Графики зависимостей $Re_H=f(t_H)$ и $Re_M=f(t_M)$ (с боковым течением) для диапазона $0 \leq t \leq 8,0$ с ($C_v=1$)

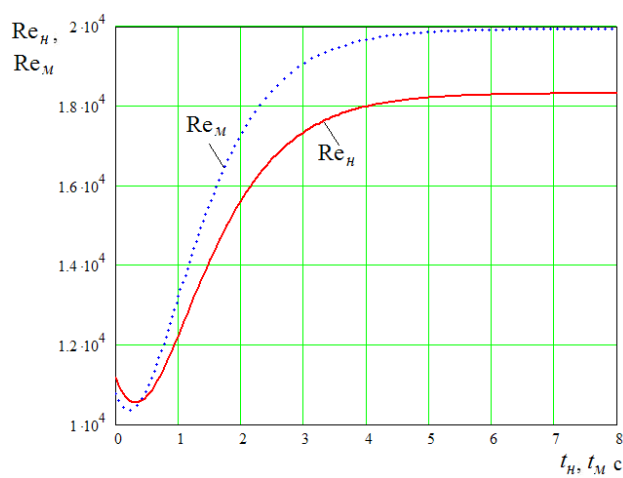


Рис. 14. Графики зависимостей $Re_H=f(t_H)$ и $Re_M=f(t_M)$ (с боковым течением) для диапазона $0 \leq t \leq 8,0$ с (учитывался масштаб $C_v=C_l^{3/4}$)

На рис. 15 изображены графики зависимостей $c_{xH}=f(Re_H)$ и $c_{xM}=f(Re_M)$, полученных на основании математического моделирования процесса погружения сферы (1) с боковым течением с учетом $C_v=C_l^{3/4}$.

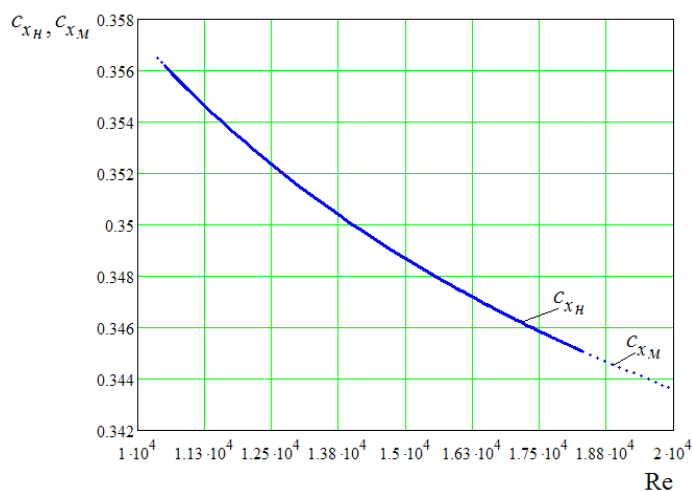


Рис. 15. Графики зависимостей $c_{xH}=f(Re_H)$ и $c_{xM}=f(Re_M)$ (с боковым течением) для диапазона $0,345 \leq Re \leq 2 \cdot 10^3$ (учитывался масштаб $C_v=C_l^{3/4}$)

Масштабные эффекты M_t и M_R определяются по формулам (6.103) и (6.104) соответственно, а также

$$M_t = \frac{t_M}{t_H C_t}, \quad (4)$$

$$M_v = \frac{v_M}{v_H C_v}, \quad (5)$$

где M_t - масштабный эффект времени протекания процесса; M_v - масштабный эффект по скорости; t_M - время эксперимента с моделью; t_H - натурное время; v_M - скорость модели; v_H - натурная скорость.

Отметим, что M_t - масштабный эффект по линейным характеристикам (глубине погружения шара) возможно определить через отношение

$$M_l = M_t M_v . \quad (6)$$

Величины максимального масштабного эффекта при погружении шара приведены в табл. 6.

Таблица 6

Величины максимального масштабного эффекта при погружении шара

M_t	M_v	M_R	M_l
1,0	1,0	0,98	1,0

Величина максимального значения масштабного эффекта M_R составила не более 2% при $C_I=0,5$.

На рис. 16 изображен интерфейс ПО «Масштабные эффекты при мультифизического подоби процессов рыболовства». С помощью данного ПО возможно выбирать оптимальные варианты характеристик модели с минимальным масштабным эффектом.

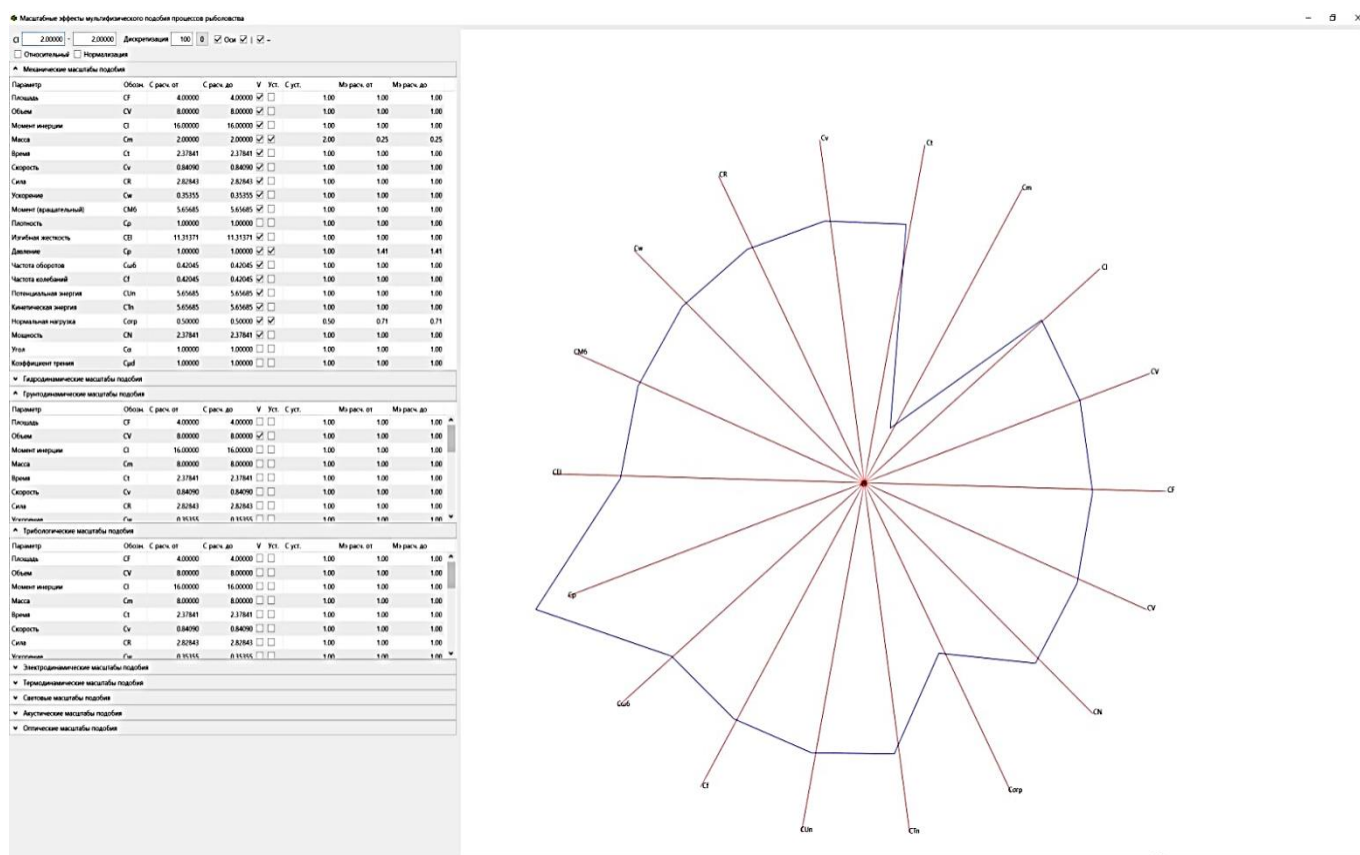


Рис. 16. ПО «Масштабные эффекты при мультифизического подоби процессов рыболовства»

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ А.А. Физическое моделирование орудий и процессов рыболовства: Монография. Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2012. - 375 с.
2. Ламб Г. Гидромеханика. - М.: Гостехиздат, 1947. - 928 с.
3. Наумов В.А. Механика движения неоднородных сред. - Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2005. - 125 с.

CONTROL THE SCALE EFFECT WHEN PERFORMING THE PHYSICAL SIMILARITY OF THE SPHERE DIVE PROCESS

¹Nedostup Aleksandr Alekseevich, associate professor, PhD in Technical Sciences

²Makarov Vyacheslav Valerievich, Head of the teaching and research laboratory of CAD systems for industrial fishing

³Razhev Aleksey Olegovich, research scholar

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹nedostup@klgtu.ru; ²vyacheslav.makarov@klgtu.ru; ³progacpp@live.ru

This article discusses a method for controlling the magnitude of the scale effect when performing a multiphysics similarity of the process of immersing balls that simulate the loading of the bottom line of the purse seine. The immersion of balls without side flow and with allowance for side flow was carried out in the marine canal of «MariNPO» (Kaliningrad). To control the magnitude of the scale effect, a computer program "Scale effects with multiphysical similarity of fishing processes" has been developed.

УДК 639.2.081

МИНИМИЗАЦИЯ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРИ МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОМ ПОДОБИИ ТРАЛОВОГО КОМПЛЕКСА

¹Недоступ Александр Алексеевич, доцент, канд. техн. наук

²Ражев Алексей Олегович, мл. науч. сотрудник, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия, e-mail: ¹nedostup@klgtu.ru; ²progacpp@live.ru

Для физического моделирования траловых систем используют различные теории подобия (методики), причем они отличаются друг от друга значительно. Приведен обзор методик физического моделирования тралов, который определяет не только уровень развития теории моделирования донных тралов, но и те проблемы, которые подлежат дальнейшему изучению. Из него видно, что условия подобия, полученные различными исследователями, нуждаются в дальнейшем рассмотрении и анализе как в части их корректировки и полноты, так и в части возможностей их реализации. Снижение величин масштабного эффекта выполняется за счет сглаживания (2) или (3) и достигается путем численного моделирования масштабов мультифизического подобия траловых комплексов.

Экспериментальные исследования с физическими моделями тралов широко применяется во всем Мире [1]. Во-первых это дешево, во-вторых информативно, и в-третьих точно. Правда, что касается пересчета модельных данных на натурное орудие рыболовство, то здесь возникают сложности, а точнее ошибки при пересчете [1]. Для физического моделирования используют различные теории подобия (методики), причем они отличаются друг от друга значительно [2,3]. Приведенный обзор определяет не только уровень развития теории моделирования донных тралов, но и те проблемы, которые подлежат дальнейшему изучению. Из него видно, что условия подобия, полученные различными исследователями, нуждаются в дальнейшем рассмотрении и анализе как в части их корректировки и полноты, так и в части возможностей их реализации. На основании вышеуказанного сведем основные правила моделирования тралов в табл. 1 с учетом принятого обозначения масштабов [4,5,6].

Правила моделирования тралов

Масштабы	Правила Tauti	Правила Froude	Правила А.Л. Фрийдмана	Правила Ferro [4]	Правила О'Neill	Правила А.А. Недоступа
C_l	$\frac{L_m}{L_n}$					
C_d и C_a	$C_d = C_a$	$C_{F_o} = \frac{C_d}{C_a} \frac{1}{C_{u_x} C_{u_y}} = 1$			$C_d = C_a = C_l^{\frac{2}{5}}$	C_l
C_v	$\left(C_d^{n1+1} \left(\frac{\rho_{sm} - \rho_m}{\rho_{sh} - \rho_n} \right) / C_\rho \right)^{\frac{1}{2-n1}}$	$(C_d^{n1} C_l)^{\frac{1}{2-n1}}$	$\frac{C_v}{C_d}, \sqrt{\frac{C_\gamma C_d}{C_\rho}}$	$0,9625 C_l^{0,59587}$	$C_l^{\frac{1}{5}}$	$C_l^{\frac{1}{4}}$
C_R	$\left(\frac{\rho_{sm} - \rho_m}{\rho_{sh} - \rho_n} \right) C_d C_l^2$	$C_\rho C_l^3$	$\frac{C_a}{C_k C_d C_l^2 C_v^2}$	C_l^3	$C_\rho C_l^{\frac{12-3n1}{5}}$	$C_l^{\frac{3}{2}}$

В табл. 1 указаны: C_l - масштаб линейных размеров; L_m - характерный линейный масштаб модели трала; L_n - характерный линейный размер натурального трала; C_d - масштаб диаметров ниток и канатов; C_a - масштаб шага ячеей (длин канатных связей); C_{ux}, C_{uy} - масштабы характеристик формы ячеей; C_{F_o} - масштаб сплошности; ρ_{sm} - плотность среды модели трала; ρ_{sh} - плотность среды натурального трала; ρ_m - плотность модели трала; ρ_n - плотность натурального трала; C_γ - масштаб среднего объемного веса сетематериалов трала; C_k - масштаб гидродинамических коэффициентов траловой оболочки.

В правилах Tauti, Froude и О'Neill фигурирует показатель степени $n1$, который характеризует значение коэффициента сопротивления траловой оболочки c_x , а известно, что коэффициент c_x зависит от трех параметров $c_x = f(Re, F_o, \alpha)$, причем важным условием моделирования является равенство коэффициентов сопротивления натурального трала и его модели $c_{xn} = c_{xm}$, или $C_k = 1$; при моделировании тралов в автомобильных областях по числам Рейнольдца $Re \geq 800$ и числа Фруда (обобщенное) $l \geq 130$ с учетом условия $C_{F_o} = 1$ необходимо соблюдать равенство значений углов атаки меридиана траловой оболочки натурального трала и его модели $\alpha_n = \alpha_m$, которые характеризуют форму трала; правила моделирования А.Л. Фрийдмана наиболее полно отвечают физическому моделированию тралов в статике, но не являются универсальными, так как с помощью их нельзя моделировать тралы в динамике (переходные процессы).

Учет автомобильности процессов дает снижение величины масштабного эффекта при пересчете определенных характеристик тралового комплекса M_δ . Критерии подобия автомобильных процессов при физическом моделировании служат не для расчета величин параметров элементов модели, а лишь для определения масштабов при любых значениях параметров элементов модели. Вопрос о точности автомобильных процессов сводится к вопросу определения масштабов и практической точности измерений. Возможность рассмотрения задачи в упрощенной постановке, применение более простого аппарата исследования, полная универсализация получаемых решений - эти преимущества автомобильных задач всецело обусловлены реально существующей физической обстановкой.

Следует иметь в виду, что сколь бы ни был полон перечень критериев подобия, обеспечение полного подобия принципиально невозможно, как невозможно изучение любых явлений или процессов во всей их полноте. Суммарная величина погрешностей, вызванных не смоделированными по тем или иным причинам факторами, называется масштабным эффектом. Подобие - всегда частично, а результаты моделирования содержат погрешности. Кроме того, в ряде случаев условия подобия несовместимы и тогда не все условия подобия выполняются, что бывает в большинстве случаев, и ещё больше увеличивает погрешности, содержащиеся в результатах опытов с моделями. Поэтому для осуществления опытов с моделями необходимо не только определить перечень критериев подобия для воспроизведения изучаемого процесса и как можно полнее реализовать вытекающие из него требования, но и оценить масштабный эффект и внести соответствующие поправки в результаты экспериментов. Необходимо отметить, что при определении размера моделей принимают во внимание два противоречивых обстоятельства. С одной стороны, желание провести испытания с наименьшими затратами при минимальной мощности экспериментальной установки. Отсюда, как следствие, стремление к уменьшению размеров моделей орудий рыболовства. С другой стороны, желание обеспечить достаточную для практических целей точность испытаний и, как следствие, стремление к увеличению

размеров модели. Практически выбор размеров модели ограничивается главным образом техническими данными имеющейся экспериментальной установки. В каждом конкретном случае размеры модели и скорость ее движения соотносятся с критическими для данной установки характеристиками, когда масштабный эффект начинает быстро увеличиваться.

Оценку величины масштабного эффекта при физическом моделировании орудий и процессов рыболовства возможно оценить. Рассмотрим поэтапно методику минимизации величин (по различным характеристикам, к примеру: скорости траления, раскрытия устья трала и тд) масштабного эффекта $M_\delta \rightarrow \min$ при мультифизическом подобии тралового комплекса.

1. На основании размеров рабочего участка экспериментальной установки и параметров натурального орудия рыболовства (трала) выбирается масштаб линейных размеров C_l .
2. На основании табличных данных масштабов мультифизических величин тралового [3] или с помощью программного обеспечения [7] определяем все необходимые масштабы тралового комплекса (см. рис. 1).
3. Невыполнение одно или нескольких масштабов подобия свидетельствует об ошибке. На основании программного обеспечения подобия мультифизических величин (см. рис. 2)

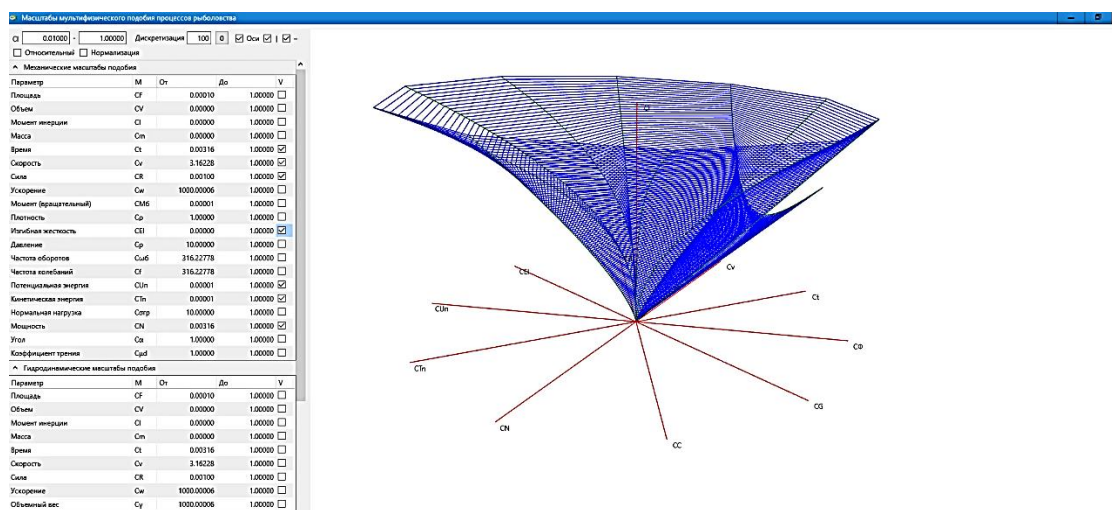


Рис. 1. Программа для ЭВМ «Масштабы мультифизического подобия процессов рыболовства» (выполнение механического, гидродинамического и электродинамического подобия)

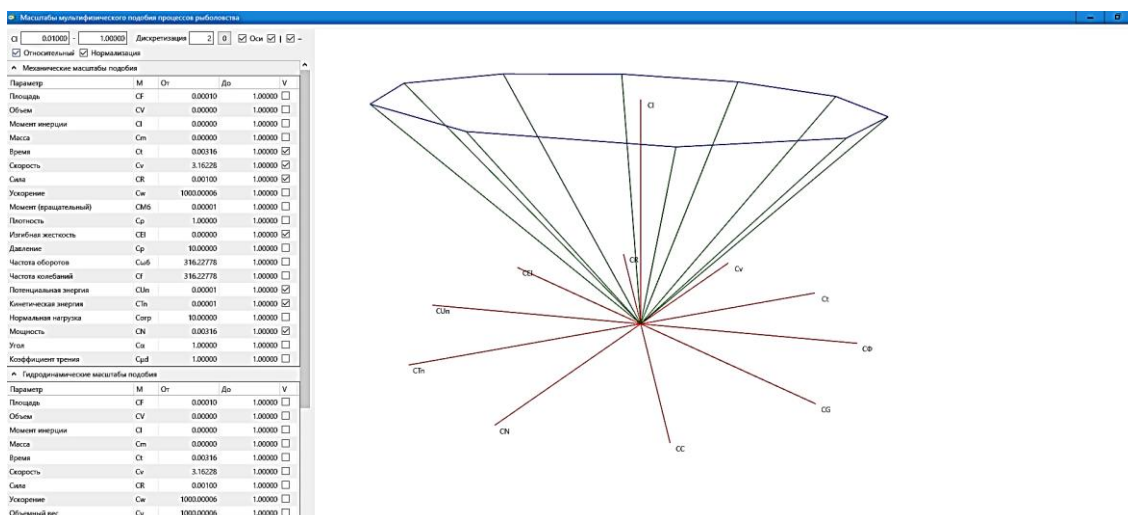


Рис. 2. Масштабное сечение при $C_l = const$

Величина масштабного эффекта M_δ прямо пропорциональна величине отклонения масштабов мультифизического подобия траловых комплексов C_{par} , где обозначение par - любая характеристика тралового комплекса (параметр).

Масштабный эффект определяется по формуле

$$M_{\delta} = \frac{par_M}{par_H C_{par}}, \quad (1)$$

где par_H - любая характеристика натурального тралового комплекса (параметр, полученный в ходе натуральных экспериментов); par_M - идентичная характеристика модели тралового комплекса (параметр, полученный в ходе модельных экспериментов).

Исходя из рис. 5 получаем минимизацию величины масштабного эффекта

$$\frac{C_{parA'}}{C_{parA}} \rightarrow 1, \quad (2)$$

ИЛИ

$$C_{parA} - C_{parA'} \rightarrow 0, \quad (3)$$

где $C_{parA'}$ - величина масштаба эффекта (любой характеристики), полученная при пересчете экспериментальных данных (полученных в ходе экспериментов); C_{parA} - величина масштаба любой характеристики (планируемая).

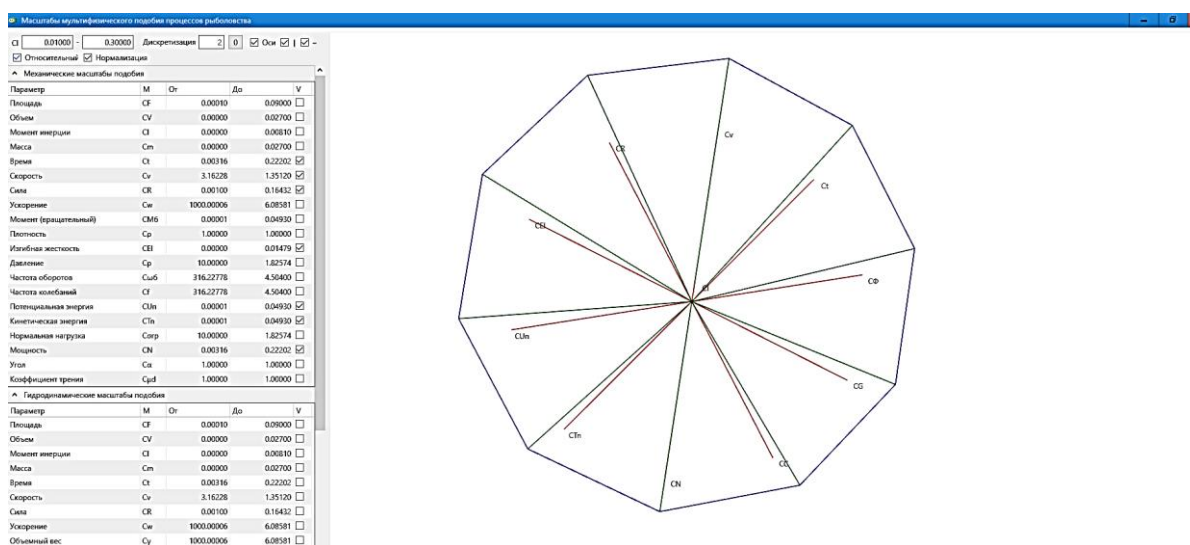


Рис. 3. Масштабное сечение при $Cl=const$ (вид сверху на цилиндрическую ось)

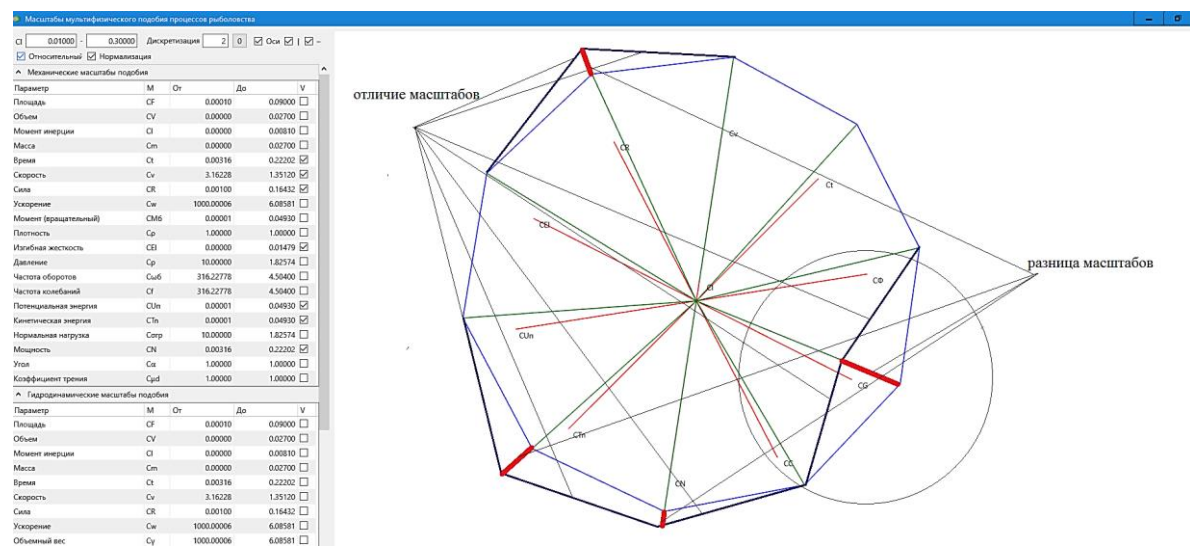


Рис. 4. Отклонение масштабов

Сглаживание (1) или (2) достигается путем численного моделирование масштабов мультифизического подобия траловых комплексов.

Дополнительно, величина масштабного эффекта может быть снижена за счет равенства коэффициентов сопротивления и распорной силы и трения деталей элементов орудий рыболовства, при этом данная процедура больших изменений в величине масштабного эффекта не имеет [8].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

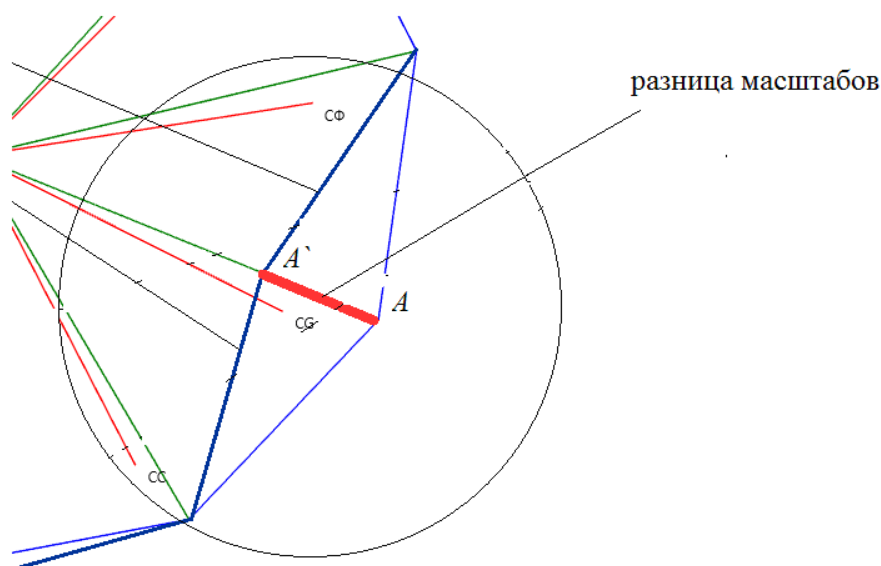


Рис. 5. Масштабный эффект (разница масштабов) мультифизического подобия траловых комплексов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ А.А. Физическое моделирование орудий и процессов рыболовства: Монография. Калининград: Издательство ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2012. - 375 с.
2. Недоступ А.А., Ражев А.О., Макаров В.В. Задачи управления разноглубинными траловыми комплексами на основании уравнений электрического и механического приводов траловых лебедок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №4. 2020. - С. 93-98.
3. Недоступ А.А., Ражев А.О. Создание правил мультифизического подобия тралового комплекса. Морские интеллектуальные технологии. №1 - Том 1 - 2021. - С. 132-137.
4. Фридман, А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства /А.Л. Фридман. - М: Легкая и пищевая промышленность - 1981. - 327 с.
5. Ferro RST, Marlen VB, Hansen KE. An empirical velocity scale relation for modelling a design of large mesh pelagic trawl. Fish. Res. - 1996. - 28. - p. 197-230.
6. Jihoon Lee, Chun-Woo Lee, Songho Park, Jieun Kim, Subong Park, Taeho Kim. Development of a low-energy midwater trawl with different combinations of trawl nets and trawl doors through model experiments. Fisheries Science. - 2018. - 84. - p. 323-334.
7. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ No. 2020663374 (3 ноября 2020 г.) «Масштабы мультифизического подобия процессов рыболовства». Правообладатель: ФГБОУ ВО «КГТУ».
8. Недоступ А.А. Обоснование поправочных коэффициентов при моделировании разноглубинной траловой системы // Сборник тезисов докладов научной конференции «Инновации в науке и образовании - 2006»/ КГТУ. 2006. - С. 187-190.

MINIMIZATION OF THE SCALE EFFECT IN THE MULTIPHYSICAL SIMILARITY OF THE TRAWLING COMPLEX

¹Nedostup Aleksandr Alekseevich, associate professor, PhD in Technical Sciences

²Razhev Aleksey Olegovich, research scholar

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹nedostup@klgtu.ru; ²progacpp@live.ru

For physical modeling of trawl systems, various similarity theories (techniques) are used, and they differ significantly from each other. A review of the methods of physical modeling of trawls is given, which determines not only the level of development of the theory of modeling bottom trawls, but also those problems that are subject to further study. It shows that the similarity conditions obtained by various researchers require further consideration and analysis, both in terms of their correction and completeness, and in terms of the possibilities of their implementation. Reducing the magnitude of the scale effect is performed by smoothing (2) or (3) and is achieved by numerical modeling of the scales of multiphysics similarity of trawl complexes.

УДК 639.2.081; 639.2.065

МЕТОД МУЛЬТИФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЛОВЫМ КОМПЛЕКСОМ В ГИДРОКАНАЛЕ ООО «ФИШЕРИНГ СЕРВИС»

¹Недоступ Александр Алексеевич, доцент, канд. техн. наук

²Ражев Алексей Олегович, мл. науч. сотрудник, канд. техн. наук

³Насенков Павел Владимирович, заместитель декана по науч. работе факультета промышленного рыболовства

⁴Мандрыкин Эрнест Антипович, инженер лаборатории САПР техники промышленного рыболовства

⁵Сысенко Владимир Владимирович, студент

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,

Калининград, Россия, e-mail: ¹nedostup@klgtu.ru; ²progacpp@live.ru;

³pavel.nasenkov@klgtu.ru; ⁵vladimirsyenko@hotmail.com

*Приводится метод мультифизического подобия управления траловым комплексом в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис», математическая база для определения оптимального управления с учетом затрат на эксплуатацию тралового комплекса. Проектирование автоматизированных производственных траловых комплексов и систем является важной задачей рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации. Настоящие исследования направлены на разработку проекта промысловой палубы рыболовного судна, эксплуатирующего разноглубинный трал для лова ряпушки (*Coregonus albula*) в озере Виштынецкое. Научная новизна работы авторов статьи заключается в обосновании метода мультифизического подобия управления траловым комплексом в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис», основанного на теории подобия.*

Разработка метода мультифизического подобия управления траловым комплексом в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис», математической базы, алгоритма для сбора данных и прогнозирования характеристик траловых систем для определения оптимального управления с учетом затрат на эксплуатацию тралового комплекса. Проектирование автоматизированных производственных траловых комплексов и систем является важной задачей рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации. Настоящие исследования направлены на разработку проекта промысловой палубы

рыболовного судна, эксплуатирующего разноглубинный трал для лова ряпушки (*Coregonus albula*) в озере Виштынецкое. Научная новизна работы авторов статьи заключается в обосновании метода мультифизического подобия управления траловым комплексом в гидроканале ООО «Фишеринг Сервис», основанного на теории подобия [1].

На основании теории подобия тралового комплекса (ТК), или дифференциального закона движения, описывающего взаимосвязь между приложенным к материальной точке квадратом силы и получающимся от этого производительностью сил N этой точки, а также выводов масштабов подобия вышеуказанных процессов [2] представим масштаб сил

- механический процесс

$$C_R \cdot \quad (1)$$

- гидродинамический процесс

$$C_R \cdot \quad (2)$$

- электродинамический процесс

$$C_R = C_I, \quad (3)$$

где C_I - масштаб силы тока;

- термодинамический процесс

$$C_R = C_K, \quad (4)$$

где C_K - масштаб разности конечной и начальной температур;

- акустический процесс

$$C_R = C_{Q\lambda}, \quad (5)$$

где $C_{Q\lambda}$ - масштаб спектральной плотности звуковой энергии;

- световой процесс

$$C_R = C_{Qs}, \quad (6)$$

где C_{Qs} - масштаб спектральной плотности световой и радио- энергии излучения;

- оптический процесс

$$C_R = C_{Qe}, \quad (7)$$

где C_{Qe} - масштаб спектральной плотности энергии излучения.

Таким образом, выраженные масштабы сил C_R для всех процессов в рамках ТК обеспечивают его мультифизическое подобие, так как

$$C_R = C_l^{3/2}, \quad (8)$$

где C_l - масштаб геометрических размеров ТК.

Для обеспечения мультифизического подобия ТК необходимо задаться линейным масштабом ТК C_l .



а) вид на борт



а) вид на корму

Рис. 1. Модель промысловой палубы рыболовного судна

В состав модели промысловой палубы (рис. 2) рыболовного судна входит:

- пульт управления промысловыми механизмами;
- модель палубы рыболовного судна.



а) пульт управления промышленными механизмами



б) модель палубы и пульт управления промышленными механизмами

Рис. 2. Управление моделями промышленных механизмов промышленной палубы рыболовного судна

На рисунке 3 представлены конструктивные характеристики экспериментальной палубы модели рыболовного судна.

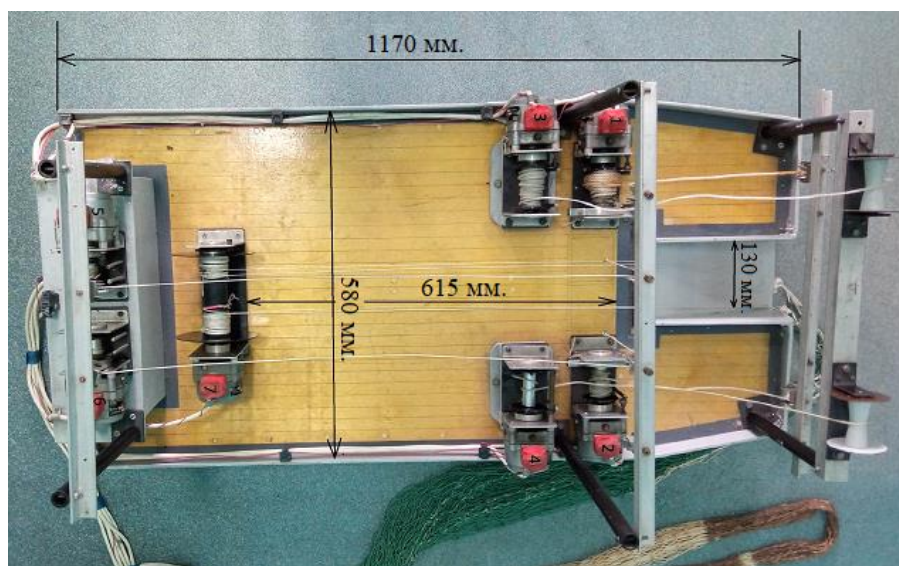


Рис. 3. Конструктивные характеристики экспериментальной палубы модели рыболовного судна

На палубе установлены 7 лебедок (табл. 1).

Таблица 1

Установленные лебедки на палубе

Номер лебедки	Тип лебедки
1	ваерная лебедка (тип двигателя РД-09) (диаметр барабана 20 мм.)
2	ваерная лебедка (тип двигателя РД-09)(диаметр барабана 20 мм.)
3	ваерная лебедка (тип двигателя РД-09) (диаметр барабана 20 мм.)
4	ваерная лебедка (тип двигателя РД-09) (диаметр барабана 20 мм.)
5	гинева лебедка (тип двигателя РД-09) (диаметр барабана 20 мм.)
6	гинева лебедка (тип двигателя РД-09) (диаметр барабана 20 мм.)
7	траловая лебедка (тип двигателя РД-09А) (диаметр барабана 70 мм.)

На лебедках установлены два типа двигателей, характеристики которых представлены в таблице 2.

Характеристики двигателей лебедок

	РД – 09 (однофазный, реверсивный)	РД – 09А (однофазный, реверсивный)
Номинальное напряжение, В	220	220
Частота питающего напряжения, Гц	50	50
Номинальная полезная мощность на валу ротора, Вт	1	1
Пусковой момент, Н/м	0,75	0,04
Частота оборотов, рад/сек	1,69	3,45
Угловая скорость на барабане, рад/сек	23,06	11,30
Угловая скорость на валу двигателя, рад/сек	1752,50	441,07
Сила тока без нагрузки, мА	45	47
Сила тока под нагрузкой, мА	41	45

Для проведения экспериментальных исследований с данной палубой, используется модель пелагического трала N-MWT-m2 1,65/6,0 м., конструктивные характеристики которого представлены в таблице 3.

Таблица 3

Конструктивные характеристики модели трала

Модель трала	Сплошность, F_o	Площадь ниток и канатов, $F_{нк}$, м ²
N-MWT-m2 1,65/6,0 м	0,06	0,225

В ходе проведения экспериментов были получены силовые параметры модели трала, которые приведены в табл. 4.

Таблица 4

Экспериментальные данные модели трала N-MWT-m2 1,65/6,0 м

Расстояние между траловыми досками (раздвижными ножами) L_D , м	Скорость потока воды v , м/с	Натяжение в кабелях (верхнем/нижнем), T , Н
1,25	1,0	2,6/6,1
	1,19	7,0/6,3
	1,43	11/7,3

На рис. 4 изображены расчетные (по данным экспериментов) данные гидродинамического сопротивления канатно-сетной части R_x модели N-MWT-m2 1,65/6,0 м при заданном расстоянии между ножами 1,25 м.

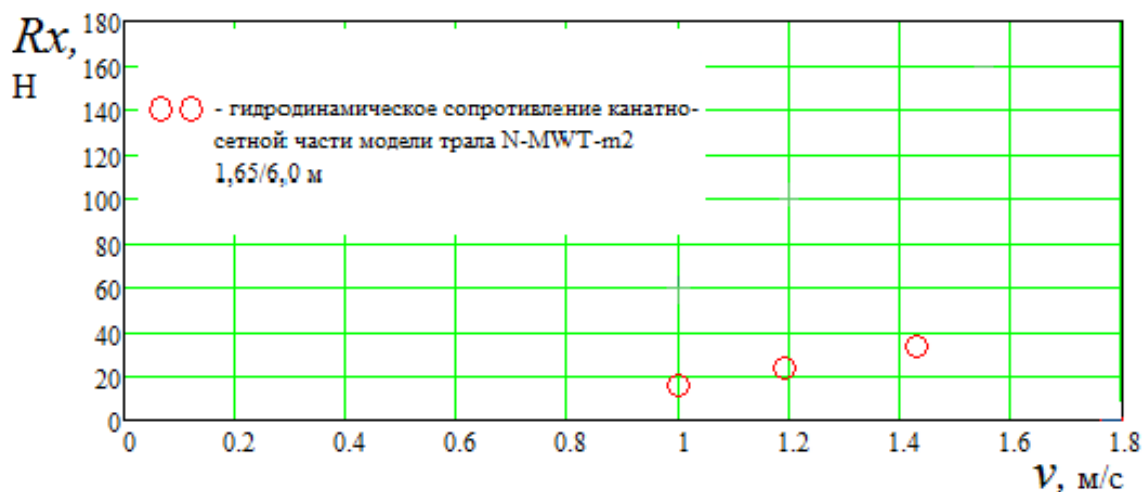


Рис. 4. Расчетные (по данным экспериментов) данные гидродинамического сопротивления канатно-сетной части R_x модели трала N-MWT-m2 1,65/6,0 м при заданном расстоянии между ножами 1,25 м

По данным экспериментальных исследований, приведенных в настоящей статье, при выполнении критериев подобия теории подобия [2,3] будет спроектирован натурный разноглубинный трал для лова ряпушки (*Coregonus albula*) в озере Виштынецкое.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 19-48-390004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ А.А. Физическое моделирование гидродинамических процессов движения орудий рыболовства // Вестник томского государственного университета. Математика и механика. Томск. - №. 3(19). - 2012. - С. 55-67.
2. Недоступ А.А., Ражев А.О. Производительность сил траловой системы: Постановка задачи. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. №2. - 2021. - С. 55-65.
3. Недоступ А.А., Ражев А.О. К теории электродинамического подобия промысловых механизмов. Известия КГТУ. №56. - 2020. - С. 61-70.
4. Гришин П.Р., Дятченко С.В., Коробчинский В.А., Недоступ А.А. Математическое моделирование при определении основных элементов и характеристик промысловых судов. Известия КГТУ. №58. - 2020. - С. 153-167.
5. Недоступ А.А., Наумов В.А., Ражев А.О., Дятченко С.В. Уравнения электродинамического подобия траловых лебедок с электрическим приводом. Морские интеллектуальные технологии. № 4 том 1, 2020. - С. 87-91.
6. Недоступ А.А., Ражев А.О., Макаров В.В. Задачи управления разноглубинными траловыми комплексами на основании уравнений электрического и механического приводов траловых лебедок // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №4. 2020. - С. 93-98.
7. Недоступ А.А., Ражев А.О. Создание правил мультифизического подобия тралового комплекса. Морские интеллектуальные технологии. №1 - Том 1 - 2021. - С. 132-137.

METHOD OF MULTIPHYSICAL SIMILARITY OF CONTROL OF THE TRAWL COMPLEX IN THE FLUME TANK OF «FISHERING SERVICE»

¹Nedostup Aleksandr Alekseevich, associate professor, Ph.D

²Razhev Aleksey Olegovich, junior research assistant, Ph.D

³Nasenzov Pavel, Deputy Dean for Scientific Work of the Faculty of Commercial Fisheries

⁴Mandrykin Ernest Antipovich, Engineer of the CAD Laboratory for Commercial Fishing Techniques

⁵Sysenko Vladimir Vladimirovich, student

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹nedostup@klgtu.ru; ²progacpp@live.ru; ³pavel.nasenzov@klgtu.ru;

⁵vladimirsysenko@hotmail.com

*The article presents a method of multiphysical similarity of trawl complex control in the flume tank of «Fishing Service», a mathematical basis for determining the optimal control, taking into account the costs of operating the trawl complex. The design of automated production trawl complexes and systems is an important task for the fishery complex of the Russian Federation. This research is aimed at developing a draft fishing deck for a fishing vessel operating a midwater trawl for fishing vendace (*Coregonus albula*) in Lake Vishtynetskoye. The scientific novelty of the work of the authors of the article lies in the substantiation of the method of multiphysical similarity of control of the trawl complex in the hydraulic channel of «Fishing Service», based on the theory of similarity.*

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТРАЛОВЫМ КОМПЛЕКСОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА НЕЙРОННОЙ СЕТИ

¹Ражев Алексей Олегович, мл. науч. сотрудник, канд. техн. наук

²Недоступ Александр Алексеевич, доцент, канд. техн. наук

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹progacpp@live.ru; ²nedostup@klgtu.ru

Рассмотрена проблема автоматизации управления траловым ловом с целью повышения его эффективности и уменьшения энергетических и экономических затрат при вылове с использованием методов предсказательного моделирования на нейронной сети. Обозначены научная новизна, актуальность и значимость исследований в данной области. Поставлены задачи прогнозирования объемов улова и затрат на улов: долгосрочного и среднесрочного «на берегу» и краткосрочного «на судне». Описаны методы решения задачи «на берегу»: заполнения базы данных статистики уловов, обучения нейронной сети с использованием базы данных уловов, предсказания по обученной нейронной сети, систематизации результатов предсказания. Определены входные (задаваемые, расчетные по математической модели, генерируемые автоматически по заданным критериям) и выходные параметры нейронной сети. Описаны методы расчета и автоматической генерации входных параметров. Представлены выборки данных об уловах. Определены области применения результатов исследования.

Автоматизация процессов рыболовства является важнейшим направлением эксплуатации биологических ресурсов, формируемых под воздействием природно-климатических и антропогенных факторов, требует междисциплинарного подхода с использованием современных информационных технологий.

Научная новизна исследования заключается в обосновании применения технологий искусственного интеллекта для автоматизации сбора статистики уловов, процесса тралового лова, поддержки централизованной базы данных тралового промысла [1-3]. Актуальность исследования определяется: стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года; национальной стратегией развития искусственного интеллекта на период до 2030 года; необходимостью развития инновационной деятельности ФГБОУ ВО «КГТУ»; создания наукоемких технологий и производств на их основе; интеграции научной, научно-технической и образовательной деятельности на основе различных форм участия преподавателей, студентов, бакалавров, магистров, аспирантов, докторантов КГТУ в научных исследованиях и экспериментальных разработках; необходимостью импортозамещения.

Научное исследование соответствует приоритетному направлению научно-технического развития Российской Федерации «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» в части обоснования возможностей технологий искусственного интеллекта для задач предсказательного моделирования распределения объектов тралового лова на самообучающейся нейронной сети.

Практическая значимость для ФГБОУ ВО «КГТУ» и других учебных заведений состоит в возможности применения результатов исследования как в процессе обучения студентов и курсантов морских учебных заведений и добытчиков гидробионтов, так и при подготовке старшего (капитанов и старших помощников) и младшего командного состава.

С целью улучшения технико-экономических показателей тралового лова поставим две задачи:

1. Долгосрочное (свыше 1 месяца) и среднесрочное прогнозирование наиболее эффективных с точки зрения объемов вылова и затрат на вылов районов промысла по заданным критериям: вид и размеры объекта лова, время года, время суток, прогнозируемые погодные условия в районе промысла (температура воды и воздуха, интенсивность осадков, ветер, волнение и т. д.), место нахождения судна на момент прогнозирования, характеристики тралового комплекса (судна, трала, и т. д.); выполняется «на берегу».

2. Краткосрочное прогнозирование наиболее эффективных с точки зрения объемов вылова и затрат на вылов траекторий лова, глубины лова с использованием данных эхолокации, получаемых в районе промысла; выполняется «на судне» непосредственно в процессе промысла.

В данной статье опишем предлагаемые методы и подходы для решения первой задачи – долгосрочного и среднесрочного прогнозирования. Методы и подходы для решения задачи краткосрочного прогнозирования с использованием технологий искусственного интеллекта (нейронной сети), эхо-записей [4-5], математической модели движения косяка рыб [6] в данной статье не рассмотрены.

Задачу прогнозирования предлагается решать с использованием нейронной сети [3]. Информацию для обучения нейронной сети предполагается брать из централизованной базы данных уловов (статистики уловов), пополняемой в автоматическом режиме информацией об осуществленных уловах всеми рыбодобытчиками, подключенными к системе. Информация по осуществленным уловам должна накапливаться в процессе промысла в локальной базе данных уловов, находящейся на вычислительном оборудовании, расположенном на судне. Накопленная информация из локальных баз данных по всем рыбодобытчикам при появлении технической возможности (наличия каналов связи) должна автоматически загружаться в централизованную базу данных.

Входными параметрами для нейронной сети являются: код района и места промысла, время дня, время года, среднесуточная температура воды и воздуха, скорость ветра, сила волнения (в баллах), тип судна, код трала, код и требуемые размеры объекта лова, скорость траления, раскрытие трала H и L , глубина траления.

Выходными параметрами для нейронной сети являются: величина улова (за единицу времени, общий), расход топлива, финансовые затраты.

Такие входные параметры, как среднесуточная температура воды и воздуха, скорость ветра, сила волнения берутся по данным прогноза метеослужб на дату предполагаемого промысла. Требуемые размеры объекта лова – диапазон дискретных параметров с заданной степенью дискретизации, например: мелкий - средний, средний - очень крупный и др.

Однотипные тралы могут работать на разных глубинах, иметь различную оснастку и длины регулирующих элементов, различную скорость траления. Указанные факторы влияют как на объем вылова, так и на затраты при вылове (на выходные параметры предсказательной модели). В связи с этим, для прогнозирования величины улова и затрат на улов недостаточно знать только тип трала. Поэтому к входным параметрам добавляются вычисляемые при помощи математических моделей параметры раскрытия трала H и L , глубина траления.

Обучение нейронной сети происходит «на берегу». В процессе обучения входные и выходные выборки извлекаются из централизованной базы данных. Полученная после обучения конфигурация нейронной сети (весовые коэффициенты) сохраняется в централизованной базе данных, откуда переносится в локальные базы данных «вручную» по команде оператора перед началом промысла, либо автоматически при наличии технической возможности (на выбор) для конфигурации нейронной сети, находящейся на суднах.

Обученная нейронная сеть на вход принимает параметры запроса от оператора. На выходе формирует оценочный прогноз по заданным параметрам запроса. На каждый запрос на выходе нейронной сети формируется один оценочный прогноз. Таким образом, для предоставления возможности выбора оптимального варианта прогноза рыбодобытчиком (в том числе с учетом критериев, не учитываемых предсказательной моделью), необходимо формировать группу запросов с заданными критериями с последующей сортировкой оценок в разрезе каждого выходного оценочного прогноза.

Критериями запроса могут служить: код района промысла, время года предполагаемого лова, среднесуточные температура воды и воздуха, скорость ветра, сила волнения в момент предполагаемого лова, тип судна, код трала, код и размеры объекта лова. Критерии задаются оператором си-

стемы автоматизации и являются статическими входными параметрами нейронной сети. Для заданных критериев система автоматизации осуществляет перебор остальных входных параметров (динамических параметров) нейронной сети с заданной степенью дискретизации, а именно: код места промысла, время дня, скорость траления, раскрытие трала H и L , глубина траления. Перебор осуществляется методом вложения циклов по одному для каждого параметра. В каждой итерации внутреннего цикла осуществляется запрос к нейронной сети. Результатом выполнения всех запросов является таблица, часть столбцов которой соответствуют входным, а часть – выходным параметрам. Полученная таблица сортируется по заданным критериям сортировки и предоставляется оператору для дальнейшего анализа с целью выбора подходящего места лова по критериям, не учитываемым в системе автоматизации.

Расчет таких входных параметров предсказательной модели на основе нейронной сети, как раскрытие трала H и L , глубина траления по заданному типу и номеру трала, скорости траления, длинам ваеров, кабелей и голых концов, параметров оснастки, траловых досок выполняется с использованием системы автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства (САПР-ОР) [7], разработанной с участием авторов настоящей статьи. С помощью САПР-ОР определяется зависимость параметров раскрытия от скорости траления, длин ваеров, кабелей и голых концов, параметров оснастки, траловых досок в табличной форме. Конструкция трала задается в виде чертежей канатной, сетной частей, тралового мешка, сборочных чертежей, 3D-моделей оснастки и траловых досок. Параметры канатно-веревочных изделий и элементов оснастки хранятся в базе данных САПР-ОР. На рис. 1 представлен скриншот САПР-ОР.

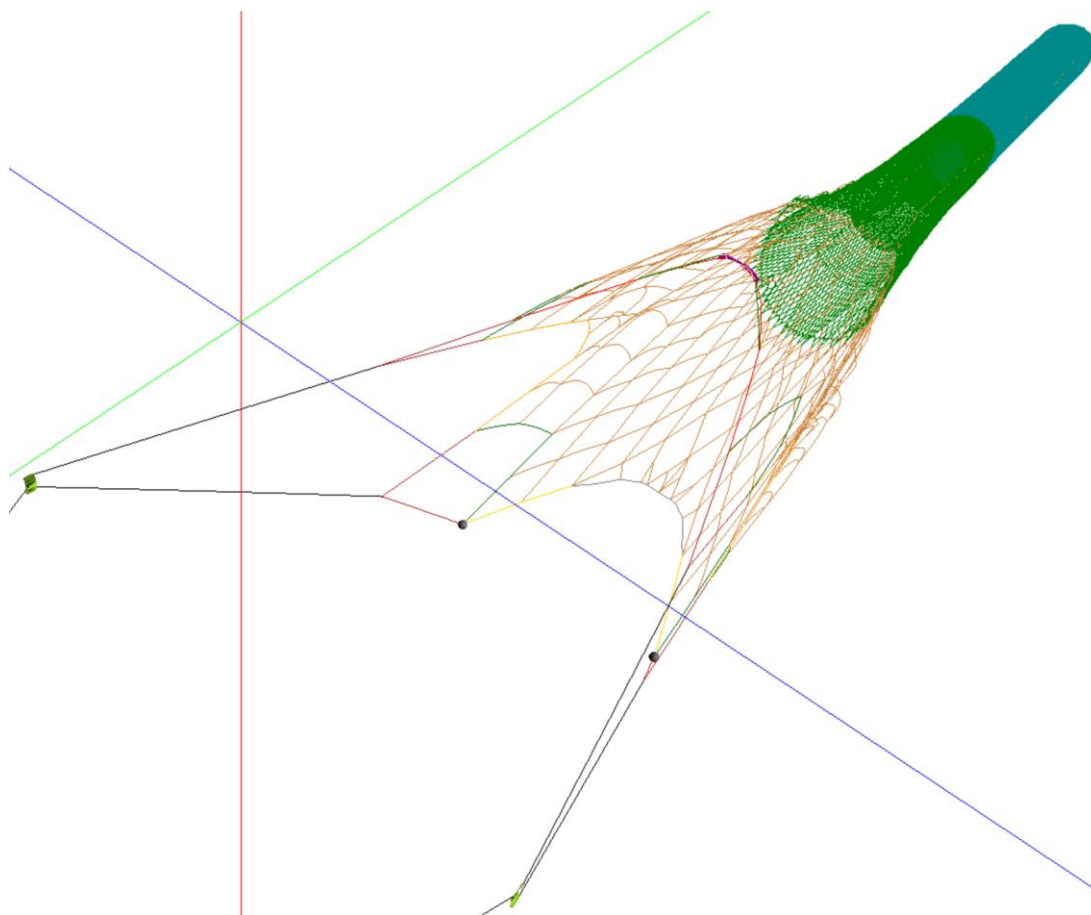


Рис. 1. Расчет формы трала

В таблице 1 приведены условия, соответствующие отобранным выборкам.

Условия, соответствующие отобранным выборкам

№	Период	Район промысла	Трал	Объект лова	Скорость траления	Количество тралений
1	06.87 - 08.87	3403	1445	642	4,5*	510
2	01.88 - 03.88	3403	3143	774	4,7*	737
3	01.88 - 03.88	3403	3143	774	5	2571
4	01.88 - 03.88	3403	3143	774	5,3*	1067
5	01.88 - 03.88	3403	1639	213	4,8*	620
6	01.88 - 03.88	3403	3247	213	4,8*	646
7	01.88 - 03.88	8752	3246	510	5,3*	506
8	01.88 - 03.88	8752	3159	510	5,5*	643

В таблице 2 приведена выборка статистической промысловой информации в районе промысла ЦВА [8]. В таблице 3 приведена выборка статистической промысловой информации в районе промысла ЦЮВТО, взятая из промысловых журналов и архива АтлантНИРО.

Таблица 2

Выборка статистической промысловой информации с условиями: район – ЦВА (Мавритания), трал - 76/336, объект лова - сардина марокканская, скорость траления от 4,5 до 5,0 узлов (1853 траления)

№	Дата (ггммдд)	Радиопозывной судна	Вылов за сутки (ц)	Кол-во опер. за сутки	Скорость (уз)	Продолжит. (ч)	Вылов объекта (ц)	Вылов объекта за час (ц)
1	880101	УОЩС	730	6	4,5	1,0	50	50
2	880101	УОЩС	730	6	4,5	1,0	150	150
3	880101	УОЩС	730	6	4,5	1,0	70	70
4	880101	УОЩС	730	6	4,5	1,2	150	125
5	880101	УОЩС	730	6	4,5	1,8	300	167
6	880101	УОЩС	730	6	4,5	2,0	1	1
7	880102	ЛЫИБ	160	4	4,5	1,7	40	24
8	880102	ЛЫИБ	160	4	4,5	0,8	40	50
9	880102	ЛЫИБ	160	4	4,5	2,1	40	19
10	880102	ЛЫИБ	160	4	4,5	1,3	40	31
11	880102	УОЩС	270	4	4,5	1,1	80	73
12	880102	УОЩС	270	4	4,5	0,6	80	133
13	880102	УОЩС	270	4	4,5	1,5	100	67
14	880102	УОЩС	270	4	4,5	1,5	4	3
15	880103	ЛЫИБ	110	3	4,5	2,1	40	19
16	880103	УОЩС	170	4	4,5	1,9	50	26
17	880103	УОЩС	170	4	4,5	2,3	80	35
18	880103	ЛЫГР	110	3	4,5	1,3	20	15
19	880103	УОЩС	170	4	4,5	0,9	8	9
20	880104	УОЩС	510	5	4,5	0,9	10	11
21	880104	УОЩС	510	5	4,5	2,1	80	38
22	880104	УОЩС	510	5	4,5	1,7	200	118
23	880104	УОЩС	510	5	4,5	1,3	20	15
24	880104	УОЩС	510	5	4,5	1,5	200	133
25	880104	ЛЫИБ	270	5	4,5	0,8	40	50

Таблица 3

Выборка статистической промысловой информации с условиями: район - ЦЮВТО, трал - код 3159, объект лова - ставрида, скорость траления от 5,0 до 6,0 узлов (643 траления)

№	Дата (ггммдд)	Радиопозывной судна	Вылов за сутки (ц)	Код-во опер. за сутки	Скорость (уз)	Продолжит. (ч)	Вылов объекта (ц)	Вылов объекта за час (ц)
1	880101	УХЛЕ	700	3	5,0	1,5	360	240
2	880101	УХЛЕ	700	3	5,0	2,0	170	85
3	880101	УХЛЕ	700	3	5,0	4,0	170	43
4	880102	УСРМ	620	4	5,0	2,7	200	74
5	880102	УСРМ	620	4	5,0	3,3	110	33
6	880102	УСРМ	620	4	5,0	2,5	110	44
7	880102	УХЛЕ	690	4	5,0	3,0	170	57
8	880102	УХЛЕ	690	4	5,0	2,0	170	85
9	880102	УХЛЕ	690	4	5,0	2,7	180	67
10	880102	УХЛЕ	690	4	5,0	5,0	170	34
11	880103	УСРМ	850	6	5,0	1,8	210	117
12	880103	УСРМ	850	6	5,0	1,3	220	169
13	880103	УСРМ	850	6	5,0	1,7	210	124
14	880103	УХЛЕ	730	5	5,0	4,0	150	38
15	880103	УХЛЕ	730	5	5,0	3,5	150	43
16	880103	УХЛЕ	730	5	5,0	3,0	150	50
17	880103	УХЛЕ	730	5	5,0	2,8	140	50
18	880103	УХЛЕ	730	5	5,0	2,5	140	56
19	880104	УСРМ	850	4	5,0	2,2	210	95
20	880104	УСРМ	850	4	5,0	2,5	210	84

В таблице 4 приведена расшифровка кодов, указанных в таблицах 1 -3.

Таблица 4

Расшифровка условий, приведенных в таблице 1

	Код	Расшифровка
Районы	3403	ЦВА (Мавритания)
	8752	ЦЮВТО
Тралы	1445	76/336
	3143	78,7/416
	1639	70/460
	3246	113/480
	3247	Нет данных
	3159	Нет данных
Объекты лова	213	Сардина марокканская
	642	Скумбрия атлантическая обыкновенная
	774	Сардина атлантическая европейская
	510	Ставрида

Результаты исследования предполагается применять как в процессе эксплуатации натуральных траловых систем, так и при разработке систем виртуальной реальности (тренажерных комплексов для обучения студентов, курсантов, добытчиков гидробионтов). С помощью полученных результатов будет возможно определять оптимальные места промысла с учетом энергетических (расход топлива) и экономических затрат, а также собирать статистику уловов на всей территории России и Мира. Собранную и накопленную в базе данных статистику уловов можно применять для автоматизации различного рода анализа, генерации различного рода аналитических отчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Недоступ А.А., Ражев А.О. Постановка задачи управления разноглубинными траловыми комплексами// Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции «Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование». П-Камчатский. ФГБОУ ВО «КамчатГТУ». - 2020. - С. 217-221.

2. Недоступ А.А., Ражев А.О. Теория управления траловым комплексом на основе предсказательного моделирования. 64-я Международная научная конференция Астраханского государственного технического университета, посвященная 90-летию юбилею со дня образования Астраханского государственного технического университета, Астрахань, 20-25 апреля 2020 года [Электронный ресурс]: материалы / Астрахан. гос. техн. ун-т. - Астрахань: Изд-во АГТУ, 2020. - Режим доступа: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

3. Недоступ А.А., Ражев А.О. Применение нейронной сети для управления траловым промыслом// Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. Астрахань. АГТУ. №1. 2021. - С. 31-37.

4. Кузнецов М.Ю., Кузнецов Ю.А. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 2. Методы и средства промысловой биогидроакустики. Известия ТИНРО. 2016;184(1). - С. 264-294.

5. М.Ю. Кузнецов, И.А. Убарчук, В.И. Поляничко, В.И. Шевцов, Е.В. Сыроваткин. Электронный атлас типовых акустических изображений промысловых видов рыб дальневосточных морей России. Известия ТИНРО. 2018;193. - С. 57-67.

6. Недоступ А.А., Альтшуль Б.А., Ражев А.О., Дятченко С.В., Бедарева О.М., Багрова А.А. Математическое моделирование поведенческих характеристик стаи рыб при облове разноглубинным тралом. Морские интеллектуальные технологии (в базе Web of Science). №4(46) Т.4. 2019. - С. 181-185.

7. Ражев А.О., Недоступ А.А., Львова Е.Е. Разработка и испытания опытного образца комплекса программно-технических средств системы автоматизированного проектирования орудий промышленного рыболовства на примере трала. НИОКР в рамках программы «Старт-ЦТ» Фонда содействия инновациям №1ГС1ЦТС10-D5/56059. № АААА-Б20-220052990039-5.

8. Комплексные сравнительные испытания промысловых тралов в районе ЦВА: Обзорная информация / ЦНИИТЭИРХ. - М., 1987, вып. ДСП-1, 114 с.

DEVELOPMENT OF METHODS FOR MANAGING A TRAWL COMPLEX USING PREDICTIVE MODELING ON A NEURAL NETWORK

¹Razhev Aleksey Olegovich, research scholar, PhD in Technical Sciences

²Nedostup Aleksandr Alekseevich, associate professor, PhD in Technical Sciences

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,

e-mail: ¹progacpp@live.ru; ²nedostup@klgtu.ru

This article considers the problem of automation of trawl fishing management in order to increase its efficiency and reduce energy and economic costs during fishing using predictive modeling methods on a neural network. The scientific novelty, relevance and significance of research in this field are indicated. The tasks of forecasting catch volumes and catch costs are set: long-term and medium-term "on the shore" and short-term "on the ship". The methods of solving the problem "on the shore" are described: filling the database of catch statistics, training a neural network using a catch database, predicting using a trained neural network, systematizing the prediction results. The input parameters (set, calculated according to a mathematical model, generated automatically according to specified criteria) and output parameters of the neural network are determined. Methods of calculation and automatic generation of input parameters are described. Samples of catch data are presented. Applications are defined.

СОСТОЯНИЕ ЗАКИДНОГО НЕВОДНОГО ЛОВА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО РАЗВИТИЯ

Соколова Елена Валерьевна, канд. техн. наук, ст. преподаватель кафедры
промышленного рыболовства

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: elena.sokolova@klgtu.ru

Цель работы – изучить вклад закидного неводного лова в рыболовство во внутренних водах (реках, озёрах, прудах, водохранилищах) и прибрежных морских зонах Российской Федерации. Для этого в статье анализируется водный фонд Российской Федерации, современное состояние рыболовства во внутренних водоёмах, официальная статистика уловов рыбы и других водных биоресурсов в период с 2010 по 2019 года. Рассмотрены выделяемые современными авторами пути развития закидного неводного лова.

К водоёмам Российской Федерации относятся озёра (общая площадь 22,5 млн га), водохранилища (общая площадь 4,3 млн га), сельскохозяйственные водоёмы комплексного назначения (площадь 960 тыс. га), пруды (площадь 142,9 тыс. га), реки (общая длина 523 тыс. км), водные территории, а также 380 тыс. км² водных площадей, пригодных для морской аквакультуры (марикультуры) [1, 2].

Более 2,2 млн озёр расположено на территории Российской Федерации. Наиболее крупными озёрами являются озеро Байкал (площадь 31,5 тыс. км²), Ладожское озеро (площадь 17,7 тыс. км²), Онежское озеро (площадь 9,7 тыс. км²), озеро Таймыр (площадь 4,6 тыс. км²), озеро Ханка (площадь 4,1 тыс. км²). Их площадь превышает 4 000 км².

К крупнейшим водохранилищам России относятся Рыбинское водохранилище, Куйбышевское водохранилище, Волгоградское водохранилище, Цимлянское водохранилище, Саяно-Шушенское водохранилище, Красноярское водохранилище, Братское водохранилище.

Более 2,5 млн рек и ручьев протекает в Российской Федерации. Наиболее крупными реками являются: Амур (длина водотока 2,8 тыс. км), Вилюй (длина водотока 2,7 тыс. км), Волга (длина водотока 3,5 тыс. км), Енисей (длина водотока 3,5 тыс. км), Иртыш (длина водотока 4,2 тыс. км), Лена (длина водотока 4,4 тыс. км), Нижняя Тунгуска (длина водотока 3,0 тыс. км), Обь (длина водотока 3,7 тыс. км) [3]. Их длина составляет более 2500 км

В водоёмах Российской Федерации обитают 295 видов пресноводных рыб, которые относятся к 140 родам, 34 семействам и 13 отрядам. Коммерческие уловы на реках, озёрах и водохранилищах включают 87 видов рыб [1].

Водные ресурсы рек, озёр, водохранилищ комплексно используются различными отраслями народного хозяйства. В последние годы добыча рыбы и других водных биологических ресурсов во внутренних водах Российской Федерации сокращается, в то время как объёмы океанического рыболовства увеличиваются (рис. 1) [4 - 7].

В Российской Федерации Федеральным законом «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 № 166-ФЗ установлены восемь рыбохозяйственных бассейнов:

- 1) Азово-Черноморский,
- 2) Байкальский,
- 3) Волжско-Каспийский,
- 4) Восточно-Сибирский,
- 5) Дальневосточный,
- 6) Западно-Сибирский,
- 7) Западный,
- 8) Северный [8].

Основные пресноводные водоёмы, в которых осуществляется рыболовство, расположены в Западно-Сибирском (объём добычи в 2018 году 53,1 тыс. т), Волжско-Каспийском (объём добычи в 2018

году 32,3 тыс. т) и Азово-Черноморском (объем добычи в 2018 году 10,77 тыс. т) рыбохозяйственных бассейнах [2].

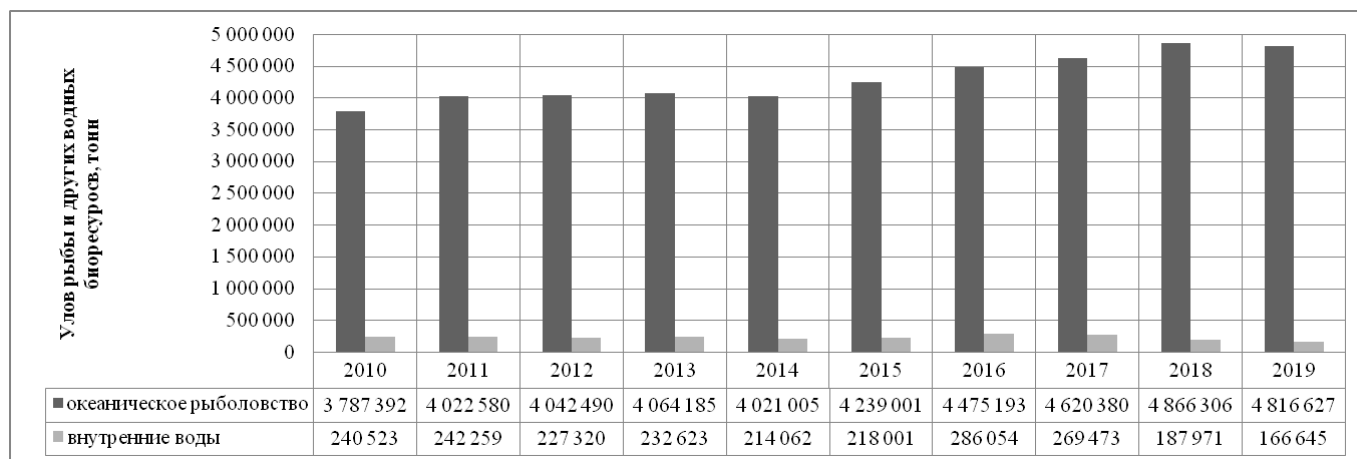


Рис. 1. Уловы рыбы и других водных биоресурсов в 2010-2019 гг.

Границы Рыбохозяйственных бассейнов определены Правилами рыболовства [9 - 11].

Западно-Сибирский рыбохозяйственный бассейн подразделяется на Обь-Иртышский и Енисейский рыбохозяйственные районы:

а) Обь-Иртышский рыбохозяйственный район включает в себя: Карское море (за исключением заливов Енисейского, Пясинского, Толля и Таймырского) с Обской, Тазовской, Гыданской, Байдарацкой и Юрацкой губами с впадающими в них реками; реки Обь, Иртыш, Пур, Таз с их притоками, старицами, сорами и водохранилищами, а также водные объекты рыбохозяйственного значения на территориях Челябинской, Свердловской, Курганской, Тюменской областей, Ханты-Мансийского автономного округа - Югры и Ямало-Ненецкого автономного округа, Омской, Томской, Новосибирской областей, Кемеровской области - Кузбасса, Алтайского края и Республики Алтай.

Обская, Тазовская, Гыданская, Байдарацкая и Юрацкая губы, а также реки Обь, Иртыш, Пур, Таз, Щучья, Мессо-Яха, Северная Сосьва, Ляпин, Сось, Сыня, Войкар, Конда, Чулым, Томь, Чумыш, Бия, Катунь, Чарыш, Тобол, Тавда, Тура с их притоками относятся к миграционным путям к местам нереста и к местам нереста лососевых, сиговых и осетровых видов рыб;

б) Енисейский рыбохозяйственный район включает в себя: Карское море с впадающими реками; заливы Карского моря (Енисейский, Пясинский, Толля и Таймырский) с впадающими реками; море Лаптевых с впадающими реками; заливы моря Лаптевых (Хатангский, Фаддея, Симса, Терезы Клавенес) с впадающими реками; реки Енисей, Пясины, Таймыра, Хатанга, Виллой (бассейн реки Лена), Обь (Чулым и Кеть) с притоками, заливами, рукавами, протоками, водохранилищами, озерами, а также акватории других водных объектов рыбохозяйственного значения, расположенные на территориях Республики Тыва, Республики Хакасия и Красноярского края.

Волжско-Каспийский рыбохозяйственный бассейн подразделяется на Северный и Южный рыбохозяйственные районы, разграниченные между собой условной линией, проходящей вдоль плотины Волжской ГЭС (город Волгоград), за исключением прудов и обводненных карьеров, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации, муниципальной и частной собственности.

Южный рыбохозяйственный район Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна включает в себя Каспийское море, а также водные объекты рыбохозяйственного значения на территориях Астраханской области, Республик Дагестан, Ингушетия, Калмыкия (побережье Каспийского моря на территории Лаганского района, река Волга на территории Юстинского района, Состинские и Сарпинские озера), Северная Осетия - Алания, Кабардино-Балкарской и Чеченской Республик и части Волгоградской области (река Волга с протоками, воложками, рукавами и другими водными объектами рыбохозяйственного значения ниже плотины Волжской ГЭС, водохранилища Волго-Донского судоходного канала с впадающими реками).

Южный рыбохозяйственный район подразделяется на 4 рыбохозяйственных подрайона: Волго-Каспийский, Северо-Западный, Северо-Каспийский, Терско-Каспийский.

Северный рыбохозяйственный район Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна включает в себя реку Волга от верховья до плотины Волжской ГЭС (город Волгоград) с бассейнами впадающих в нее рек, в том числе водохранилища: Верхневолжское, Ивановское, Угличское, Рыбинское, Горьковское, Чебоксарское, Черепецкое, Воткинское, Камское, Нижне-Камское, Куйбышевское, Сурское, Саратовское, Волгоградское, а также все водные объекты рыбохозяйственного значения, расположенные на территориях Республик Башкортостан, Республик Марий Эл, Мордовия, Татарстан, Удмуртской Республики, Чувашской Республики - Чувашии, Пермского края, Белгородской, Брянской, Владимирской, Волгоградской (выше плотины Волжской ГЭС), Вологодской (Рыбинское водохранилище и другие водные объекты рыбохозяйственного значения на территории Череповецкого района), Ивановской, Калужской, Кировской (за исключением водных объектов рыбохозяйственного значения бассейна реки Северная Двина), Костромской, Курской, Московской, Нижегородской, Оренбургской, Орловской, Пензенской, Рязанской, Самарской, Саратовской (за исключением водных объектов рыбохозяйственного значения бассейна реки Дон), Смоленской, Тамбовской, Тверской, Тульской (бассейн реки Ока), Ульяновской, Ярославской областей и города Москвы.

Азово-Черноморский рыбохозяйственный бассейн включает в себя Черное и Азовское моря с бассейнами впадающих в них рек и все водные объекты рыбохозяйственного значения Республики Адыгея, Республики Калмыкия (за исключением Каспийского моря с бассейнами впадающих в него рек), Карачаево-Черкесской Республики, Республики Крым, Краснодарского и Ставропольского краев, Волгоградской (бассейн реки Дон), Воронежской, Липецкой, Ростовской, Саратовской (бассейн реки Дон) и Тульской областей (бассейн реки Дон), города федерального значения Севастополя, за исключением прудов, обводненных карьеров, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации, муниципальной и частной собственности.

Теоретические основы закидного неводного лова

Неводы являются традиционным видом внутреннего и прибрежного рыболовства. Закидной неводной лов ведется на такие ценные виды рыб, как лосось, осетр, сельдь, карп, сиг и др. [12].

Закидные невода представляют собой отцеживающие орудия рыболовства: ими охватывают часть водоёма вместе с рыбой, затем подтягивают и выбирают на берег или судно (рис. 2 [13, 14]). По своей конструкции закидные невода могут быть равнокрылые и неравнокрылые. Закидной невод состоит из крыльев, приводов и мотни. Крылья и приводы направляют рыбу к мотне. Длина неводов для речного и озерного лова варьируется в широких пределах и составляет от 100 до 1000 м; для морского лова - 2000-2500 м.



А, Б – крылья, В – мотня,

а – верхняя подбора с поплавками, б – нижняя подбора с грузилами, в – распорный шест (кляч)

Рис. 2. Выборка закидного невода

Кроме закидных неводов в пресноводных водоёмах используются ставные и плавные сети, ловушки, близнецовые невода и тралы.

В XX веке изучением неводного лова занимались различные авторы [15 - 18]. Теоретические основы закидного неводного лова были разработаны основоположником науки о промышленном рыболовстве Федором Ильичем Барановым [15], который первым описал взаимодействие закидного невода и рыбы в процессе лова и выделил три схемы:

– схема 1: *рыба неподвижна – невод движется*. Схема характерна для закидного неводного

лова, ведущегося в озёрах, прудах, лиманах и иногда для прибрежного морского лова.

– схема 2: *рыба движется – невод неподвижен*. Схема характерна для озёрного и морского закидного неводного лова.

– схема 3: *рыба движется – невод движется*. Данная схема характерна для речного закидного неводного лова.

Эффективность закидного неводного лова зависит от многих факторов. Наиболее важными факторами являются:

- техника и тактика рыбной ловли;
- поведение и распределение рыбы;
- соответствие конструкции закидного невода месту лова.

Рыба реагирует на закидной невод, когда попадает в его *зону действия* V – объём окружающего водного пространства, из которого рыба за время может попасть в улов [19]. Зона действия включает *зону облова* V_1 – объём водного пространства, из которого у рыбы практически нет другого выхода, кроме попадания в отсев, вызванный селективными свойствами закидного невода и *зону охвата* V_2 – объём водного пространства, в котором рыба может попасть в зону облова или обойти её.

В зависимости от типа водоёма закидной неводной лов бывает речным, озёрным и морским (рис. 3.).

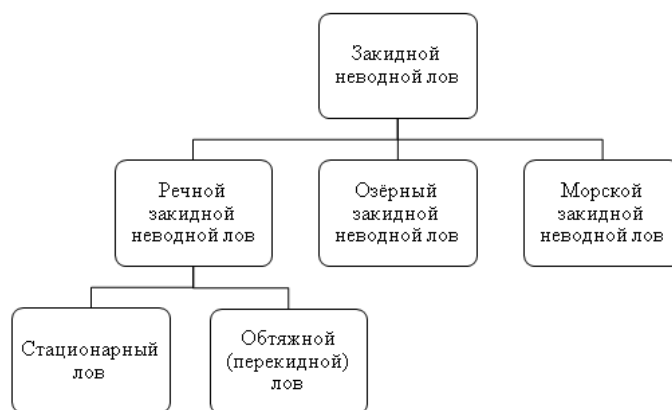


Рис. 3. Виды закидного неводного лова

Речной закидной неводной лов

Речной закидной неводной лов практикуется в низовьях рек при лове ходовой рыбы. Этот вид промысла характеризуется ограниченным водным пространством (включая изменение направления реки, наличие сужений и расширений русла), изменение стока в зависимости от глубины и ширины реки, зависимость гидрологических параметров от сезона [16, 17]. Указанные особенности рек влияют на технику и организацию речного промысла, конструкцию речных закидных неводов.

Речной закидной неводной лов в свою очередь подразделяется на стационарный промысел и обтяжной (перекидной) промысел. Стационарный промысел ведется в течение всего рыболовного сезона или большей его части на постоянных тонях и в течение короткого времени (обычно массового интенсивного хода рыбы) на временных тонях. При обтяжном (перекидном) лове на обтяжных тонях обычно делается 1 – 2 замета.

При осуществлении речного закидного неводного лова выделяют следующие промысловые операции: 1) переход на замет; 2) замет; 3) спуск пятного крыла и тяга бежного уреза; 4) тяга бежного крыла и подтягивание пятного крыла; 5) тяга за оба крыла; 6) притонение мотни и выливка улова; 7) доборка невода.

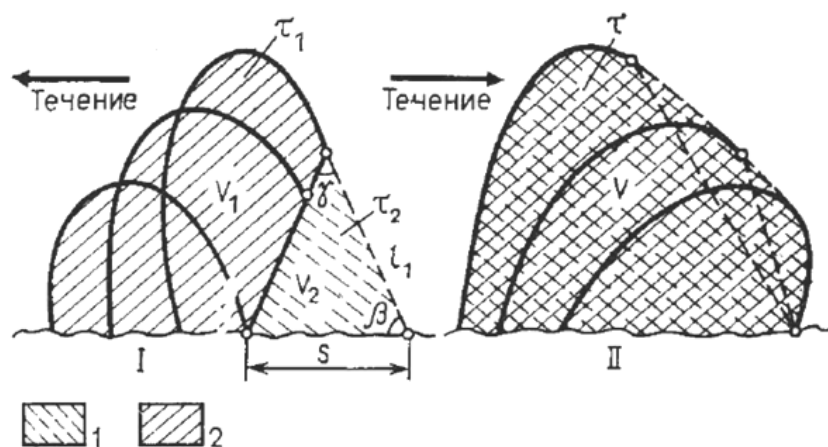
Зона действия речных закидных неводов согласно А.И. Трещеву [19] при замёте против течения и по течению показана на рис. 4.

Зона облова при замёте речного закидного невода *против течения* (1)

$$V_1 = \tau_1 \cdot a, \quad (1)$$

где: τ_1 – площадь зоны облова,

a – высота закидного невода в посадке.



I – зона охвата, 2 – зона облова

Рис. 4. Зоны действия речных закидных неводов по А.И. Трещёву при замёте: I – против течения, II – по течению

Зона охвата (2)

$$V_2 = \tau_2 \cdot a, \quad (2)$$

где: τ_2 – площадь зоны охвата

$$\tau_2 = l_1^2 \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta / 2 \cdot \sin \alpha. \quad (3)$$

Зона действия V (4)

$$V = a \cdot (\tau_1 + l_1^2 \cdot \sin \gamma \cdot \sin \beta / 2 \cdot \sin \alpha). \quad (4)$$

Зона действия V при замёте речного закидного невода *по течению* (5) совпадает с зоной облова

$$V = V_1 = \tau_1 \cdot a. \quad (5)$$

Улов речным закидным неводом определяется по формуле Ф.И. Баранова [15]

$$Q = a(\int y dx_1 + v \int y dt), \quad (9)$$

где: a – плотность потока рыбы, $\text{кг}/\text{м}^2$;

y – расстояние от берега до конца невода (неводника, пока вымётывается невод, и кляча во время тяги) в момент времени t , от начала замёта до 0 до конца замёта T – момента подхода к берегу бежного кляча;

dx_1 – перемещение кляча вниз по реке;

v – скорость движения рыбы вверх по реке (принимается постоянной), $\text{м}/\text{с}$;

dt – время замёта закидного невода.

Озёрный закидной неводной лов

С промысловой точки зрения выделяют большие и малые озёра, водохранилища, спускные (дренажные) и неспускные (не дренирующие) пруды.

В крупных озёрах рыболовство делится на прибрежное и глубоководное.

В небольших озёрах удобнее проводить лов с отрывом от берега из-за заболоченных или заросших берегов, затрудняющих притонение.

Берега водохранилищ крутые и обрывистые, многие водохранилища плохо очищены от кустов и пней на дне. Отличительной особенностью водохранилищ является непостоянство уровня воды.

Условия промысла в озёрах, водохранилищах и прудах значительно отличаются от условий промысла в реках:

1. нет постоянного течения (либо течение незначительно по сравнению с речным), поэтому направление движения невода не зависит от течения.

2. озёра, пруды и водохранилища менее вытянуты чем реки.

3. ведётся преимущественно промысел неходовых рыб.

Озёрный закидной неводной лов (при лове с берега) включает следующие промысловые операции: 1) наборка невода; 2) замет одного уреза перпендикулярно берегу; 3) замет невода параллельно берегу; 4) замет второго уреза перпендикулярно берегу; 5) тяга за оба крыла; 6) притонение мотни; 7) выливка улова.

Морской закидной неводной лов

Морским называется закидной неводной лов на поверхности и в толще воды морей [16, 17].

Морской закидной неводной лов ведётся у морских берегов: в заливах и местах, защищенных от сильных волн [15]. В наиболее важных промысловых районах морской закидной неводной лов рассчитан на лов ходовой рыбы, перемещающейся из морских глубин к побережью, а затем – вдоль побережья.

Морской закидной неводной лов включает следующие промысловые операции: 1) наборка невода; 2) замет невода; 3) тяга пятного уреза; 4) тяга бежного уреза; 5) тяга бежного крыла; 6) тяга за оба крыла; 7) выливка улова. Закидной невод наиболее целесообразно вымётывать таким образом, чтобы большая его часть была направлена от берега поперёк движению рыбы.

Направления развития закидного неводного лова

Современные авторы [20] выделяют следующие направления для улучшения закидного неводного лова:

1. изучение поведения рыб во время ловли;
2. механизация закидного неводного лова;
3. определение габаритных размеров закидных неводов;
4. определение силовых характеристик закидных неводов в процессе лова;
5. увеличение уловистости закидных неводов;
6. управление закидным неводным ловом.

Поведение рыбы при закидном неводном лове

Закидные невода относятся к активным орудиям лова. Поведение и распределение рыбы на разных этапах лова закидными неводами оказывает влияние на эффективность лова. Для поимки рыбы закидным неводом необходимо окружить некоторую часть водоёма с рыбой и затем при выборке невода не дать ей уйти из окружённого пространства.

Существуют различные способы получения сведений о поведении рыб: наблюдения над водой и под водой; использование ультразвука и лазера; экспериментальные установки [21]. В зависимости от среды обитания рыбы разделяются на донные, придонные и пелагические; тепловодные и холодноводные; прибрежные и рыбы открытых вод; пресноводные, морские и проходные; предпочитающих сложный рельеф или открытые участки; рыб поверхностных слоёв, средних глубин и глубоководных. При исследовании влияния поведения рыбы на результат лова значительную трудность вызывает получение достаточных статистических данных о реакциях рыб на различные конструктивные элементы орудий рыболовства.

Обзор сведений о поведении рыб при облове закидными неводами дан Новожиловым Е.П. [21]. В настоящее время наиболее изучено влияние тралового лова на поведение рыб [22]. Часть исследований посвящена изучению реакции пресноводных рыб на сетное полотно с ячейкой разного размера [23]. Изучению поведения рыб при закидном неводном лове посвящены работы Кострыкина Д.А. по предотвращению ухода рыбы из речного закидного невода [24].

Поведение рыб складывается из схем поведения, передаваемых наследственным путём, и функциональных схем, приобретаемых опытным путем [22]. Наследственные особенности поведения неизменны, или претерпевают незначительные изменения. Они проявляются на таких этапах жизни рыбы, как размножение, питание, ритм жизни. Ненаследственные поведенческие реакции наиболее изменчивы в зависимости от опыта и обучения и помогают рыбе приспособиться к среде обитания.

Механизация закидного неводного лова

Закидной неводной лов был механизирован одним из первых в России. Средства механизации закидного неводного лова подразделяются в зависимости от промысловой операции (таблица 1)[25]. Наиболее известны средства для механизации замёта, механизации тяги урезов, механизация сборки невода. Особое место занимают устройства для спуска пятного крыла речного закидного невода. Для механизации замёта закидного невода используются моторные баркасы для буксировки самодельных неводников или моторных неводников. Для механизации тяги урезов используются неводные лебёдки, в том числе речные лебёдки ЛНР-1 и морские лебёдки ЛНМ-1.

Для речного закидного неводного лова характерна высокая степень механизации. В речном закидном неводном лове *полностью механизирована* операция перехода на замёт; *частично механизированы* спуск пятного крыла по тросу, выборка бежного уреза, выборка бежного крыла, наборка бежного уреза и крыла, донаборка невода в неводник; *не механизированы* торожение пятного крыла, тяга невода за оба крыла, выливка и сортировка улова [12]. Среди средств для механизации сборки речного закидного невода известны неводонаборочные машины системы инженера Полонского (волжские неводонаборочные машины). Для сборки невода на неводник при осуществлении морского лова существует береговая самоходная неводонаборочная машина для выборки крыльев системы Торбана и Тютюева БСМК-ТТ; неводная лебёдка системы Кубышкина; машина системы Каретникова [16].

В направлении механизации закидного неводного лова в XXI в. можно выделить устройство для выборки речных закидных неводов, предназначенное для уменьшения разрушения нижней подборы невода и повышения срока его службы, за авторством Кострыкина Д.А. и Чурунова В.Н. [26].

Таблица 1

Средства механизации промысловых операций закидного неводного лова

Промысловая операция	Средство механизации	Тяговое усилие, кН (кгс)
Выборка невода (урезов и крыльев)	Машина неводовыборочная Н19-ИВА, Н19-ИВА/1	9,81 (1 000)
	Машина неводовыборочная навивная Н19-ИВД/1	10 (1 000)
	Машина неводовыборочная навивная 6278МН-492-002	20 (2000) - первый слой 4,5 (450) – последний слой
	Машина неводовыборочная НВМ2-200 (6104/2-296-002)	2,3 (230)
	Машина неводовыборочная «НЕВА» Н26-ИДБ/1	29,4 (3 000)
	Оборудование для выборки закидных неводов «Ильмень»	8 (800) – I скорость 4 (400) – II скорость
	Машина неводовыборочная ТУБ-3Т	9,8 (1 000) – наибольшее расчётное тяговое усилие на барабане 19,62 (2 000) - максимальное суммарное тяговое усилие машины, 9,81 (1 000) – максимальное тяговое усилие на каждой турачке
	Тяговый универсальный барабан ТУБ-4С	9,81 (1 000)
	Лебёдка для тяги неводов модели 43 (МЛ-43)	10 (1 000)
	Лебёдка малая неводная «Нельма»	10 (1 000)
	Лебёдка самоходная промысловая Н19-ИВЕ	10 (1 000)
	Лебёдка неводная речная «Заводь»	23 (2 300)
Машина неводовыборочная стржевая Н19- ИВВ-1	15 (1 500)	
Выборка крыльев	Машина неводовыборочная БСМК-ТТ-3М	12 (1200) турачка 3 (300) выборочные барабаны
Выборка урезов	Лебёдка неводная Н19-ИВЖ	10 (1 000)

Перспективными направлениями дальнейшего совершенствования механизации закидного неводного лова является разработка навивных береговых и судовых неводовыборочных машин в связи с их преимуществами перед другими неводовыборочными машинами: одновременно с выборкой канатов и сетной части осуществляется их укладка, выборка происходит практически без применения ручного труда, урезы и крылья легко сходят с барабанов[25].

Управление закидным неводным ловом

Управление процессом лова включает в себя управление объектом лова (рыбой и другими водными биоресурсами), управление орудием лова, управление промысловым судном и промысловыми механизмами [18].

Под управлением объектом лова понимается контактное или неконтактное воздействие на рыбу, при котором повышается эффективность лова. Под управлением орудием лова понимается изменение его положения, рабочих размеров, формы, которые обеспечивают наиболее благоприятное расположение орудия лова относительно объекта лова. Управление промысловым судном направлено на достижение нужного положения и показателей перемещения орудий лова.

Федеральным агентством по рыболовству в целях совершенствования государственного мониторинга водных биоресурсов разработан унифицированный справочник (классификатор) орудий добычи (вылова) водных биоресурсов.

Актуальная версия справочника размещена на сайте ФГБУ «Центр системы мониторинга рыболовства и связи» в разделе «Справочники ОСМ».

В справочнике орудий лова (версия от 30.04.2021) приведены 79 закидных неводов.

К направлению управления закидным неводным ловом рыбы относится разработка формы регистрации уловов закидного невода [27]. Авторы предлагают указывать следующие первичные данные: наименование водоема, сила ветра и волнение во время замета, глубина места лова, температура у поверхности и у дна, длина и высота закидного невода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ФАО, 2011-2021. Программное обеспечение для рыболовства и аквакультуры. FishStatJ - Программное обеспечение для статистических временных рядов рыболовства и аквакультуры. В: *Отдел рыболовства ФАО* [онлайн]. Рим. Обновлено. [Цитировано 13 июня 2021 г.].
2. Комитет Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию. Круглый стол «Развитие рыболовства во внутренних водоёмах: проблемы и перспективы» // Электрон. дан. Режим доступа URL:http://agrarian.council.gov.ru/activity/activities/round_tables/106212/ (дата обращения 21.06.2021).
3. Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб. / Росстат. – М., 2020. – 113 с.
4. Российский статистический ежегодник – 2016 // Электрон. дан. Режим доступа URL:https://gks.ru/bgd/regl/b16_13/Main.htm.
5. Российский статистический ежегодник. 2018: Стат. сб. / Росстат. – М., 2018 – 694 с.
6. Российский статистический ежегодник. 2019: Стат. сб. / Росстат. – М., 2019 – 708 с.
7. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат. сб. / Росстат. – М., 2020 – 700 с.
8. Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 № 166-ФЗ (последняя редакция).
9. Приказ Минсельхоза России от 30.10.2020 № 646 «Об утверждении правил рыболовства для Западно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна».
10. Приказ Минсельхоза России от 18.11.2014 № 453 «Об утверждении правил рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна».
11. Приказ Минсельхоза России от 09.01.2020 N 1 (ред. от 28.07.2020) «Об утверждении правил рыболовства для Азово-Черноморского рыбохозяйственного бассейна».
12. Новожилов Е.П., Чурунов В.Н. Совершенствование управления речным закидным неводным ловом рыбы / Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. – 2011. - № 2. – С. 35 – 39.
13. Большая советская энциклопедия / гл. редактор О.Ю. Шмидт. – М.: Советская энциклопедия, 1926-1947. – Т.50: Ручное огнестрельное оружие – Серицит. – 1944. – 440 с.
14. Малая советская энциклопедия : в 10 т. / гл. ред. Н.Л. Мещеряков. – М.: АО «Советская энциклопедия» 1928 – 1932. Т. 7: Прямая – Скулы. – 1930. – 966 стб.
15. Баранов Ф.И. Избранные труды: в 4 т. / Ф.И. Баранов. – М.: Пищевая промышленность, 1969-1971. – Т.1 : Техника промышленного рыболовства. - 1969 – 719 с.
16. Войниканис-Мирский В.Н. Техника промышленного рыболовства. Часть II. Орудия и способы промышленного рыболовства. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 456 с.

17. Войниканис-Мирский В.Н. Основы промышленного рыболовства. – М.: Пищевая промышленность, 1969. – 304 с.
18. Мельников В.Н., Лукашов В.Н. Техника промышленного рыболовства.- М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. -312 с.
19. Трещев А.И. Интенсивность промысла. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1983. – 236 с.
20. Новожилов Е.П., Чурунов В.Н. Направления и методы совершенствования речного закидного неводного лова // Известия КГТУ. – 2012. - № 24. – С. 184-192.
21. Яржомбек А.А. Образ жизни и поведение промысловых рыб. – М.: Изд-во ВНИРО, 2016. – 200 с.
22. Коротков В.К. Поведение рыб в зоне действия трала. Учебное пособие. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. – 180 с.
23. Герасимов Ю.В., Извеков Е.И., Долгих М.Г., Лапшин О.М. Изменчивость реакции рыб на сетное полотно с ячейкой размера / Поведение рыб. Материалы докладов V Всероссийской конференции. 8 – 9 ноября 2014 г. Борок, Россия. – Кострома: Костромской печатный дом, 2014. – С. 25 – 29.
24. Кострыкин Д.А. Определение вероятностей ухода рыбы из речного закидного невода (на примере воблы) // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: рыбное хозяйство. – 2012. - № 1. – С. 55 – 59.
25. Технические средства механизации промышленного рыболовства внутренних водоемов. Справочник/ Под общей редакцией А.И. Литвиненко- Тюмень: ФГУП Госрыбцентр, 2005. – 124 с.
26. Устройство для выборки речных закидных неводов : пат. RU 193006 U1 / Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «АГТУ») – 2019114618; заявл. 13.05.2019; опубл. 09.10.2019. 5 с.
27. Ким Л.Н., Измятинский Д.В. Форма регистрации уловов закидного невода и ставных сетей и опыт оценки ресурсов рыб с помощью этих орудий лова // Известия ТИРНО. – 2017. – Т.189. – С. 204 – 218.

STATE OF SEINE NETS FISHING IN THE RUSSIAN FEDERATION AND THE PROSPECTS OF ITS DEVELOPMENT

Sokolova Elena Valer'evna, cand. tech. science, Senior Lecturer at the Department of Industrial Fishing

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: elena.sokolova@klgtu.ru

The purpose of this work is to study the contribution of seine net fishing to fishing in inland waters (rivers, lakes, ponds, reservoirs) and coastal sea zones of the Russian Federation. To do this, the article analyzes the water fund of the Russian Federation, the current state of fishing in inland waters, the official statistics of catches of fish and other aquatic biological resources in the period from 2010 to 2019. The ways of development of seine net fishing identified by modern authors are considered.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА И ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ УСИЛИЯ ПОДЪЁМА ТРАЛОВЫХ МЕШКОВ С УЛОВОМ

¹Суконнов Анатолий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного рыболовства, заведующий лабораториями

²Суконнова Татьяна Евгеньевна, канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного рыболовства, заместитель декана по учебной работе

³Скуратов Николай Александрович, аспирант ФПР

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»,
Калининград, Россия, e-mail: ²sukonova@mail.ru; ³snikal@tut.by

Целью настоящих исследований является теоретическая и практическая подготовка дальнейших экспериментальных работ по определению зависимости усилия при выборке траловых мешков с уловом на палубу судна, определение факторов от условий и режимов эксплуатации системы «судно-трал» и методики определения их диапазона изменения. Научная новизна заключается в установлении закономерностей изменения усилия выборки траловых мешков с уловом по слипу судна от факторов реальных условий эксплуатации рыболовных систем «судно-трал», не рассматриваемых ранее. В результате проведённых работ выявлены цели и задачи экспериментальных работ, подобраны влияющие факторы и методика проведения экспериментов.

Введение

Траловый лов на протяжении последних 60 лет, не теряет своей актуальности и остаётся распространённым видом промысла водных объектов, на его долю приходится порядка 70% от общего вылова. Анализ схем, применяемых в отечественном рыболовстве, показал, наибольшая часть тральщиков имеет промысловые схемы кормового траления, предусматривающие вытаскивание мешков с уловом используя слиповый настил, установленный в кормовой части судна.

Распространению данного вида промысла и способа выливки уловов с использованием слипового настила способствует его активность (трал является активным орудием лова), прибыльность, поскольку он не требует значительных затрат финансов и времени (в сравнении с другими орудиями лова), и удобство в эксплуатации. Тем ни менее при движении мешков с уловом по слиповому настилу, возникают пиковые нагрузки, приводящие к поломке механизмов, перегрузке вытяжных лебёдок, порывам сетной части [1], повреждаемости объектов лова [2].

Выполненные ранее работы по исследования физической сущности процесса подъёма траловых мешков с уловом по слипам судов проводились неоднократно. В частности, этим вопросом посвятили свои работы А.Л. Фридман, В.П. Карпенко, А.В. Суконнов, Н.А. Скуратов [1-6]. Результатами их исследований явились зависимости, которые в некоторой степени описывают данный процесс, а также рекомендации по снижению пиковых нагрузок, которые нашли своё применение при разработке кабельно-сетных барабанов, однако, полученные результаты и рекомендации не в полной мере позволяют оценивать силовые воздействия на траловый мешок с уловом и промысловые механизмы при выполнении процессов подъёма и выливки улова. Последние исследования, выполненные Скуратовым и Суконновым, позволили получить зависимость усилия в вытяжном конце при подъёме уловов от влияющих факторов характеризующих систему судно трал, таких как значение наполнения тралового мешка, угол наклона слипа и высота выхода вытяжного конца, скорости выборки.

Зависимость усилия в вытяжном конце от параметров x_1 , x_2 , x_3 .

$$T = 17,76 + 5,74 * x_1 + 2,09 * x_2 + (-1,29) * x_3 \quad (1)$$

где x_1, x_2, x_3 – значения наполнения тралового мешка, угла наклона слипа и высоты выхода вытяжного конца соответственно, записанные в кодированном виде (изменяемые от -1, до +1 в зависимости от выбранного значения в соответствии с матрицей).

Цель исследований

В процессе исследований было замечено, что на усилие в вытяжном конце оказывает влияние и площадь соприкосновения тралового мешка. А поскольку, как показывают наблюдения, размеры тралов, а как следствие и их мешков, растут, поэтому было решено обратить своё внимание на данную проблему. Так же, было выдвинуто предположение что площадь соприкосновения слипа с различными мешками с уловом влияет по-разному на усилие в вытяжном конце.

Эти предположения подтверждаются в некоторой степени на теоретических изысканиях, касающихся трения возникающего в текстильных материалах (трал также производится из текстильных материалов), таких исследователей как Ренни, Крагельский и Зотиков [7]. Ими была проведена серия экспериментальных работ, касающихся изменения трения от площади, для волокнистых материалов и предоставлены данные по ним, однако аналитической зависимости не было получено. Но было получено понимание двойственности трения (рис. 1), когда при разных нагрузках коэффициент трения может как расти, так и снижаться.

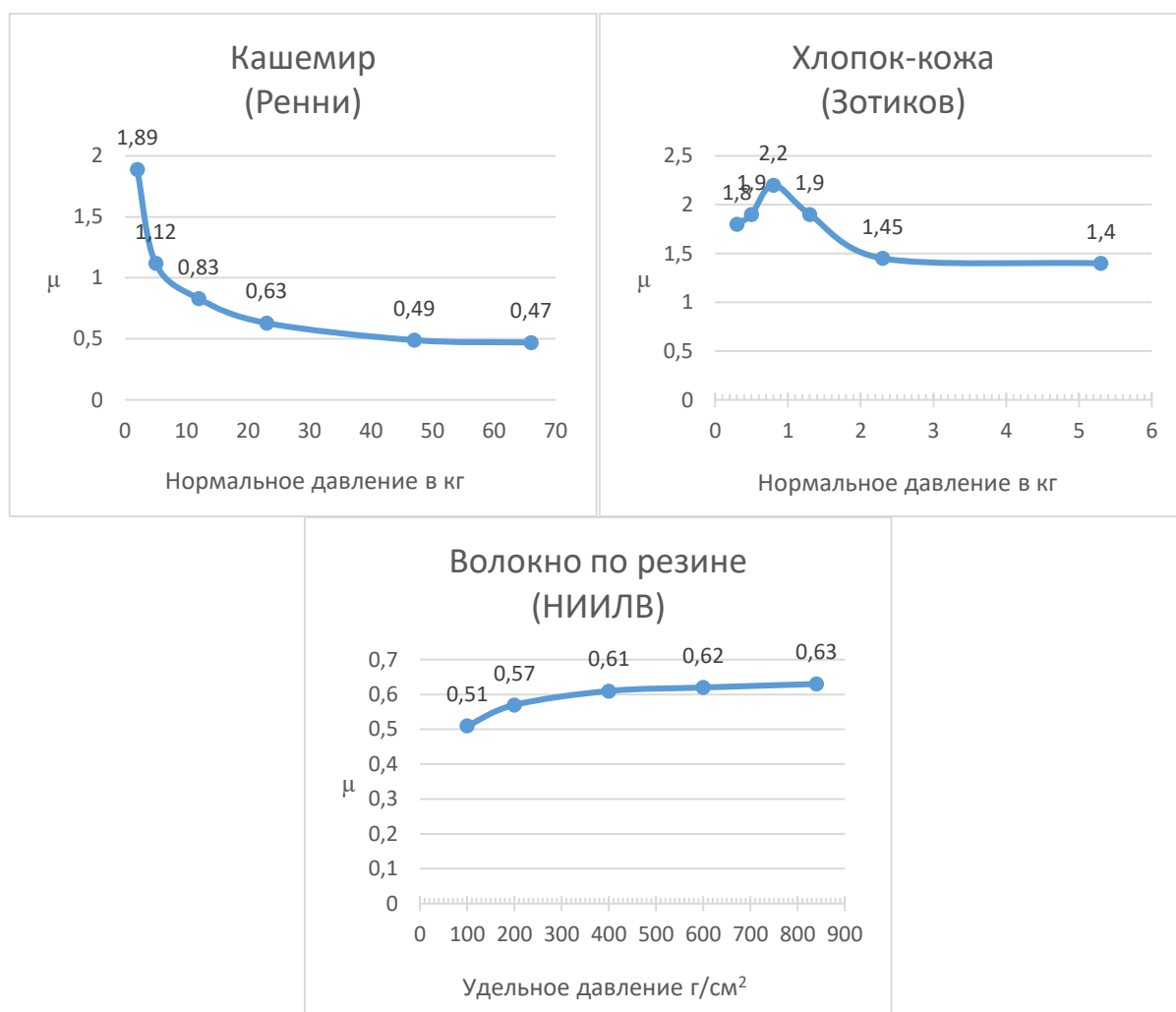


Рис. 1. Влияние давления на величину коэффициента трения

Исходя из полученных нами данных целью дальнейших экспериментальных работ являются исследования влияния площади трения на усилие в вытяжном конце, а на данном этапе (подготовительных работ), перед нами была определена цель: подготовить экспериментальную установку для установления в дальнейшем зависимости тягового усилия выборки трала с уловом на палубу судна от площади соприкосновения тралового мешка с поверхностью слипового настила, для различных

сочетаний факторов, определяющих систему судно-трал. Это позволило бы оценить степень его влияния на процесс выборки уловов на палубу судна и найти наилучшую площадь соприкосновения, что скажется на энергопотреблении и стоимость выпускаемой продукции.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Подготовить и оснастить измерительной аппаратурой экспериментальную установку;
2. Изготовить модели траловых мешков и замерять площади их соприкосновения со слиповой поверхностью;
3. Разработать методику проведения исследований;
4. Провести экспериментальные работы.

Влияющие факторы и методика проведения экспериментов

Экспериментальные работы возможно провести на экспериментальной установке, используемой нами в предыдущих работах [3-6]. Данная установка выполнена в масштабе 1:25 с возможностью оснащения её силоизмерительным комплексом. Состав установки следующий: слиповое устройство с переменными углами наклона, промысловая палуба выполненная из дерева, ванна с водой, с возможностью регулирования её уровня, вытяжной лебёдки. Сменные слиповые настилы обладающие различными формами изготовлены из нержавеющей стали.



Рисунок 2 – Фото экспериментальной установки

Усилие в вытяжном конце во время поднятия мешков замеряем силоизмерительным комплексом «Міс 200», в его состав входит силоизмерительный датчик тензометрического типа и обрабатывающее устройство (ноутбук). Все данные замеров (динамограммы) сохраняются.

В качестве факторов, влияющих на усилие во время выборки траловых мешков с уловом, на данном этапе работы предполагается рассмотреть следующие:

1. Угол наклона слипа.
2. Площадь соприкосновения тралового мешка с поверхностью слипа.

Оценивать площадь соприкосновения будем, используя криволинейный интеграл. Площадь области, для удобства расчёта, ограниченной эллипсом, заданным параметрически в виде $x=acost$, $y=bsint$, $0 \leq t \leq 2\pi$, где a - длина большой полуоси, b - длина малой полуоси.

Поскольку у нас имеется несколько влияющих факторов, поэтому с целью сокращения количества экспериментальных работ, повышения точности оценок параметров воспользуемся многофакторными схемами организации экспериментальных работ [8].

Таким образом было решено использовать метод планирования многофакторного эксперимента с двумя независимыми друг от друга влияющими факторами и на основе этого составили план проведения эксперимента (таблица 1), с целью дальнейшего проведения экспериментов по ней.

Таблица 1

План проведения эксперимента

№ п/п	x ₁	x ₂
1.	x ₁₁	x ₂₁
2.	x ₁₁	x ₂₁
3.	x ₁₂	x ₂₂
4.	x ₁₂	x ₂₂

Где x₁, x₂ – записанные значения угла наклона слипа и площади трения тралового мешка соответственно, где x₁₁, x₁₂, x₂₁, x₂₂, – критические значения (крайние значения диапазона) указанных факторов.

Порядок проведения экспериментальных работ следующий:

1. Определяем площадь соприкосновения траловых мешков со слиповой поверхностью
2. Устанавливаем сменный слиповый настил прямолинейной формы
3. Устанавливаем заданный угол наклона слипа (α°) в интервале изменения. Для этого на установке имеются соответствующие отградуированные отверстия для стопоров, через каждые 5 градусов.
4. Укладываем модель тралового мешка на слиповую поверхность.
5. Предварительно перед началом испытаний замачиваем модели траловых мешков в воде в течении суток.
6. Подключаем силоизмерительный датчик в линию вытяжного конца промысловой лебёдки, а затем подключаем его к станции МПС 200 (4).
7. Включаем лебёдку на выборку и одновременно подключаем силоизмерительную станцию МПС 200 (4), фиксируя при этом изменений усилие в датчике в процессе выборки модели тралового мешка по слипу.
8. Результаты записываются и отображаются в виде динамограмм.
9. Экспериментальные исследования проводим по 10 раз с учётом всех влияющих факторов для всех рассматриваемых форм слиповых настилов.
10. Проводим математическую обработку экспериментальных данных.

Выводы

С целью определения влияния площади трения сетной части трала на усилие в вытяжном конце, нами были подготовлены модели траловых мешков различного диаметра и конструкции, заполнялись они смесью по плотности сопоставимой с плотностью рыбы. Данная смесь была отмеряна, чтобы получить равные объёмы, и рассыпана по мешкам. Теперь, когда всё подготовлено, можем перейти к завершающей стадии работы, проведению экспериментов и обработке полученных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фридман, С.Л. Взаимодействие трала и судна при подъеме улова на кормовом траулере: дис. канд. техн. наук / науч. рук.: А.И. Трещев – Мурманск: Мурман. высш. мореход. училище, 1960. – 242 с.
2. Фридман, А.Л. Исследование взаимодействия системы «судовая слиповая установка». – Калининград: КТИРПиХ, 1985. – 135 с.
3. Суконнов, А.В. Скуратов. Н.А. К вопросу сохранения качества выливаемых уловов из траловых мешков // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности российской федерации. Материалы I Национальной заочной науч.-техн. конф. (Владивосток, 22 декабря 2017 года): материалы – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2017. С. 261-265.

4. Скуратов, Н.А. Суконнов, А.В. Экспериментальное определение зависимости тягового усилия выборки трала с уловом на палубу судна от параметров системы «судно-трал» на модели промысловой палубы судов типа РТМ-С. // Известия КГТУ. – Калининград, 2018. - №48 – С. 39-46.
5. Скуратов, Н.А. Суконнов, А.В. Экспериментальное исследование процесса подъёма траловых мешков с уловом по слипу судна. // Известия КГТУ. – Калининград, 2019. - №54 – С. 187-195.
6. Скуратов, Н.А. Суконнов, А.В. Суконнова, Т.Е. Экспериментальные исследования по оценке влияния скорости подъёма траловых мешков с уловом по различным формам слипов судов на усилие в вытяжном конце промысловой лебёдки. // Известия КГТУ. – Калининград, 2020. - №57 – С. 67-76.
7. Трение волокнистых веществ учеб. пособие / И.В. Крагельский. – Москва: Изд-во ГИЗЛег-Пром, 1941.
8. Планирование экспериментов в промышленном рыболовстве: учеб. пособие / Г. М. Долин. – Калининград: Изд-во КГТУ, 1996. – 119 с.

THEORETICAL PREPARATION AND JUSTIFICATION OF EXPERIMENTAL WORKS TO DETERMINE THE DEPENDENCE OF THE EFFORT OF LIFTING TRAWL BAGS WITH A CATCH

¹Sukonnov Anatoly Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Fishing, Head of Laboratories

²Sukonnova Tatiana Evgenievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Industrial Fishing, Deputy Dean for Academic Affairs

³Skuratov Nikolay Aleksandrovich, postgraduate student

FSBEI HE "Kaliningrad state technical university", Kaliningrad, Russia,
e-mail: ²sukonova@mail.ru; ³snikal@tut.by

The purpose of this study is the theoretical preparation and substantiation of experimental work to determine the dependence of the effort of lifting trawl sacks with the catch on the deck of the vessel on the conditions and operating modes of the vessel-trawl system. The scientific novelty lies in the establishment of regularities in the change in the trawl sacks pulling force with the catch on the slip of the vessel from the factors of the real operating conditions of the trawl systems, which were not previously taken into account. As a result of the work done, the goals and objectives of the experimental work were determined, the influencing factors and the method of conducting the experiments were selected.

СЕКЦИЯ «РАДИОФИЗИКА, РАДИОТЕХНИКА И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

SECTION "RADIOPHYSICS, RADIO ENGINEERING AND INFORMATION SECURITY"

УДК 004.056.5:378.3

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМОВ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ SCADA-СИСТЕМ АСУ ПРЕДПРИЯТИЯ

Бабаева Алина Андреевна, ст. преподаватель кафедры информационной безопасности

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: pandora_dark@mail.ru

Рассматриваются механизмы аудита информационной безопасности SCADA-систем на предприятиях с автоматизированными системами управления. Изучается специфика разработки механизмов сканирования и блокировки вредоносных программ. Изучаются особенности системы защиты информации в SCADA – системах. Приводится структура механизмов аудита в таких системах.

Сегодня для автоматизации производственных процессов обычно используются АСУ (автоматизированные системы правления). Системы АСУ уязвимы также, как и все остальные ИС, так как их технологии построения практически одинаковы, но риски при этом, гораздо выше, вплоть до нарушения непрерывности технического процесса.

В настоящее время на рынке представлены только дорогостоящие программные средства для проведения аудита системы, что для многих предприятий является большими финансовыми потерями, и часто это является одной из самых главных причин руководства отказаться от производства аудита на предприятие.

Часто на предприятиях не выделяют отдельные отделы безопасности, и нагрузка падает на отдел информационных технологий, отвечающих за корпоративную сеть, за частую не понимающих технологического процесса, но разбирающихся в сетевых технологиях.

Проанализировав отчет об угрозах безопасности в интернете за 2018 год, сравнив его с результатами за последний год, были сделаны выводы о том, что количество уязвимостей, которые относятся к системам промышленного управления (ICS), было увеличено на 28,72%. А значит, рассматривая ценные и критически важные процессы, с точки зрения безопасности, и учитывая, что именно эти системы соединяют и контролируют их, можно прийти к выводу о том, что нарушения безопасности влекут за собой достаточно дорогостоящие и опасные последствия. Для специалистов по безопасности достаточно собрать информацию о сети и передать руководству свои рекомендации по работе. Главное – понять, справляется отдел по безопасности своими силами или без привлечения сторонних организаций, которые являются специалистами в узких вопросах, не обойтись.

Приведу технические требования, которые являются основополагающими на этапе проектирования распределенных АСУ ТП:

- создание резервной копии основной аппаратуры управления и контроля и самых важных каналов информационной передачи;
- предоставление возможности программной и аппаратной аварийной остановки при аварийных ситуациях;
- создание каналов, обладающих высокой надежностью, обмена технологической информацией между системой управления и контроля и объектами;

- обеспечение высокоэффективного человеко-машинного интерфейса в системе мониторинга и визуализации;
- создание эффективной и надежной системы диагностики программно-аппаратных средств, направленных на высокую скорость обнаружения неисправностей;
- обеспечение распределенной системы электропитания;
- поддержание в реальном времени и масштабе обмена данными по информационным каналам;
- подбор контроллерного оборудования, удовлетворяющего международным стандартам и критериям надежности и эффективности;
- обеспечение широкого температурного диапазона работы технических средств локальных систем автоматического управления (САУ);
- создание контура заземлений надежного на каждой площадке объекта автоматизации;
- обеспечение защиты контрольно-измерительных и информационных каналов от внешних воздействий;
- предоставление облучивающему персоналу эксплуатационной документации, инструмента для монтажа и диагностики.

За механизм сбора информации в реальном времени, который является важной частью современных АСУ отвечает SCADA система.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.

Т.к. любые SCADA-системы являются уязвимыми и не защищенными от хакерских атак, то рекомендуется применять средства защиты информационных комплексов, соблюдающих общие требования информационной безопасности.

Самые частые угрозы SCADA-систем:

- уязвимость ОС;
- уязвимость SCADA-систем;
- каналы связи;
- невозможность физической защиты оборудования;
- недостаточно квалифицированные сотрудники (человеческий фактор).

Проведение атаки через одну из данных уязвимостей может привести:

- финансовый ущерб;
- потеря или кража информации;
- сбои в работе объекта;
- разрушение физического характера;
- сбои на технике периферии;
- сбои SCADA-системы.

Предотвращение угроз данного типа зависит от выполнения задач, требующих комплексного подхода:

- разработка системы безопасности должна происходить на этапе создания технического задания АСУ ТП;
- создание стандарта предприятия по обеспечению ИБ, учитывающего материальное обоснование, на этапе внедрения;
- выделение нескольких уровней защиты SCADA-систем от угроз, можно выделить;
- создание физического уровня, предусматривающего видеонаблюдение, охрану помещений, контроль доступа персонала к оборудованию АС и контроль оборудования системы и каналов связи, связанный с поиском шпионских комплектов;
- создание организационного уровня, предусматривающего обеспечение стандартов предприятия по ИБ, подбор и обучение обслуживающего персонала, систематическое повышение квалификации персонала, координация действий по обеспечению ИБ со стороны ИТ и АСУ ТП обе службы должны работать в не посредственном согласии. Обеспечение обслуживания базы данных SCADA-системы, создания резервных копий архивной информации и проведение аудита всех типов журналов, в целях защиты от несанкционированного доступа;

- создание программно-аппаратного уровня, предусматривающего распределение прав доступа для всего персонала АСУ ТП, применение программных средств по определению атак на систему в реальном времени, использование на серверах и АРМ операторов специализированного антивирусного ПО, разделение корпоративной сети и сети, на которой работает SCADA-система. Кроме того, необходимо создать ограничение использования, удаленного или беспроводного доступа в систему без прохождения процедуры аутентификации.

Основные этапы при проведении анализа безопасности:

1. Оценка степени риска в системе.

Основным этапом создания SCADA-системы в защищённом исполнении является оценка степени рисков. Такая оценка покажет актуальность существующей системы безопасности, и покажет необходимость доработки системы безопасности или ее отсутствия.

2. Проведение экспертизы.

Вторым важным этапом является проведение экспертизы оценки степени риска для того, чтобы избежать ошибок в оценке. Кроме того, необходимо провести профессиональный аудит SCADA системы на всех её уровнях, который предусмотрит сравнение спецификации всех программных модулей и всех каналов связи. Для этого предусмотрены проверки, включающие следующие этапы экспертизы:

- проведение анализа и составление описания всех возможных рисков для системы безопасности;
- проведение анализа защиты системы от проникновения;
- проверка внутренних протоколов;
- проведение анализа топологии системы, программного обеспечения. Составление рекомендаций по оптимизации.

3. Анализ степени риска:

- опция динамического безопасного расширения системы, её аутентификация и авторизация;
- оценка принятых во внимание рисков;
- анализ архитектуры системы безопасности;
- анализ существующей парольной защиты и составление рекомендаций.

4. Проведение симуляции атаки:

- тестирование системы на уязвимость, используя авторизованный доступ к ресурсам;
- выявление уязвимостей.

5. Составление рекомендаций по защите:

- рекомендации для укрепления защиты с примером конкретных решений;
- рекомендация технических способов защиты;
- рекомендации по подключению новых технологий к существующим модулям в системе.

Основные проблемы ИБ АСУ ТП, выделяемые экспертами:

- слабая защита от НСД;
- не декларированные возможности SCADA-систем;
- отсутствие контроля управляющего воздействия;
- отсутствие разделения сетей;
- использование не крипто стойких WiFi;
- не авторизованный доступ к удаленному управлению;
- Web-технологии, с помощью которых современные скада производят коммуникацию;
- отказ от минимальных мер безопасности;
- человеческий фактор.

Далее хотелось бы рассмотреть список угроз АСУ ТП, отмеченных в реальных инцидентах.

Распределение уязвимостей по типу:

- избыточные права и привилегии, недостаточный контроль доступа – 11%;
- неправильная проверка ввода – 9%;
- уязвимости при работе с памятью – 8%;
- выход за пределы назначенного каталога – 7%;
- раскрытие информации – 6%;
- внедрение команд – 6%;
- некорректный контроль доступа – 5%;

- внедрение операторов в SQL – 5%;
- межсетевое выполнение сценариев – 4%;
- некорректный механизм аутентификации – 4%
- другие – 35%.

Среди всех типов уязвимых компонентов АСУ ТП SCADA — 12.4%, такой же процент составляет человеко-машинный интерфейс, — 12.4%, далее идут уязвимости ПЛК/ТУД – 9.2%, также большую долю в процентном соотношении составили промышленное сетевое оборудование – 14.7%, инженерное ПО – 20.4%, ОС – 2.2%.

ИБ SCADA-систем — это сложный комплекс мероприятий, который главным образом направлены на решения трех основных (шпионаж, хищение данных, сбой в алгоритме работы) проблем ИБ ФСУ ТП. Любая атака на АСУ ТП состоит из 3х основных стадий:

- первая стадия производится атака на IT сегмент предприятия. Атака производится на точки в хода в АСУ ТП, чаще всего происходит по уязвимостям протоколов в каналах связи, уязвимости браузера, внедрение руткит программ в систему;
- вторая стадия производится атака на отклонение в работе АСУ ТП. Цель получение системы АСУ ТП под контроль злоумышленника;
- третья стадия атака на физическом уровне. Изменение в работе ПЛК устройств.

Ключевыми целями создания АСУ ТП являются: обеспечение надежности, эффективности и безопасности ТП. Основными функциями АСУ ТП являются: управление и регулирование ТП, сбор информации о технологическом процессе и обеспечение защиты оборудования технологического уровня.

Для того, чтобы понять стратегии защиты – необходимо рассмотреть несколько фаз атаки:

- подготовка (разведка). Для нейтрализации данных угроз разведки используется стадия защита проактивная защита. Проактивная защита — это комплекс программного комплекса или программное аппаратного комплекса, ограничение не авторизованных пользователей в ЛВС;
- реализация. Используется активная защита – это анализ данных которые собрала про активная защита, подразумевается, что произошло изменение информации и диспетчер проводит анализ данное изменение несет в себе вредоносное ПО или нет;
- нанесение ущерба. Реактивная защита – это защита, которая подразумевает отсутствие вмешательства в процесс нанесения ущерба пока не произойдет на несение ущерба, направлена на моментальное исправление данного ущерба, нанесенного злоумышленникам.

Особенностью работы АСУ ТП является то что все эти этапы могут затянутся на долгие годы, пример вирус Stuxnet пробыл в системе 5 лет и за такое время если бы предприятие перешло от проективной системы защиты к активной, что выявило что программное обеспечение заставляет центрифуги обогащения ураном работать в предельно допустимом диапазоне, что приводило к быстрому износу центрифуг.

Для проведения аудита ИБ на оперативном уровне децентрализованной автоматизированной системы управления технологическим процессом используют разные методы проведения данной проверки:

- метод социальной инженерии: сбор всех сведений о ИС компании из публичных источников;
 - метод подключения к сети из вне: метод подразумевает проверку возможность получить доступ по IP-адресам компании из внешней сети;
 - метод сканирования хостов: при успешной проверки возможности подключения происходит сканирование данных адресов, чтобы определить, что за программы запущены, определить их версии, прослеживание маршрута, по которому компания получает трафик к хостам;
 - анализ полученных данных;
 - вынесение рекомендаций по устранению уязвимости.
- все эти методы в большей мере подходят для корпоративных сетей, в случае распределенной АСУ ТП возникает ряд проблем, возникающих при сканировании системы:
- многие АСУ ТП отделяют о ЛВС, тем самым не дают доступ из внешней сети;
 - при удачном сканирование корпоративной сети сложно отделить именно АСУ сегмент;
 - современные автоматизированные системы проведения сканирования не учитывают работу по портам, которые используют АСУ ТП протоколы (OPC, ProfiBus, ModeBus и другие).

Однако, большинство предприятий использует безадресную полную защиту информационной системы, что означает полную защиту без учета особенностей технологий отдельно взятой системы и ее конфигурации или неполное считывание особенностей конфигурирования.

При такой защите СЗИ не ориентированы на важные и уязвимые файлы в системе. Все это ведет к необходимости использования программ, которые будут осуществлять проверку наиболее важных объектов при работе системы. Чаще всего написание подобных программ стоит очень дорого. Но в современных условиях достаточно много программ, которые позволяют использовать язык сценариев (скрипт код). Которые помогут выполнять необходимый функционал для проверки системы, язык сценариев поможет с помощью набора микроопераций реализовать необходимую нам функцию. Микрооперации – это действие, связанное в потоке выполнения одной задачи с другими действиями той же задачи.

Особенности использования данного механизма является то, что они тесно связаны друг с другом в рамках выполнения одной задачи, выполнение скриптов позволяет использовать автоматизировать сканирование и определить среду управления. Скрипт направленный на выполнение одной конкретной задачи по защите информации, является функцией с учетом принципа адресности.

Адресная защита подразумевает самостоятельное определения на и более важных объектов, файлов и функций для исследования их или защиты. Тем самым происходит избирательный подход, так как специалист, обеспечивающий ИБ, выбирает сам сегмент для защиты и средства по его защите.

Для реализации концепции необходимо в первую очередь определить наиболее уязвимые объекты, возможные для них угрозы, а также способы их реализации. Далее для каждой функции или файла определим, каким способом данные элементы системы можно защитить от вредоносной атаки, так чтобы не произошло его заражение, которое может привести к тяжелым последствиям, в частности дать сбой при работе системы или полностью вывести ее из строя.

После этого для каждого уязвимого элемента системы следует разработать свою адресную функцию, состоящую из определенного набора микроопераций. Все микрооперации представляют собой небольшой код, который создан для реализации конкретного действия. Они расположены на персональных компьютерах, находящихся на административном уровне, на которых установлена система управления производственными процессами.

Каждую микрооперацию можно определить конкретным действием для защиты. Вот основные примеры таких действий:

- резервное копирование;
- поиск вредоносного объекта;
- удаление зараженного файла;
- поиск открытого и закрытого порта.

Далее приведены основные принципы защиты информации в автоматизированных системах:

- принцип целостности гарантирует неизменность информации, ее корректность. Обеспечение целостности помогает определить и предотвратить незаконное создание, модификацию или удаление информации;

- принцип доступности гарантирует, возможность работы авторизованных пользователей с информационными активами и ресурсами, которые им нужны. Производительность поддерживается на необходимом уровне. Обеспечение доступности должно включать меры доступности информации и системы, независимо от внешних и внутренних факторов, влияющих на доступность. включает меры для поддержания доступности информации, несмотря на возможность создания помех, включая отказ системы и преднамеренные попытки нарушения доступности;

- отсутствие лишних элементов в системе – это наличие только тех элементов, которая использует система управления;

- отсутствие нелегальных входов в систему – это отсутствие фактов неавторизованного доступа в систему;

- обеспечение сохранности критически важных объектов управляющей системы за счет регулярного резервирования важной информации. Для этого создаются копии файлов, документов, программ, баз данных.

Таким образом, появляется вопрос полного перекрытия, так как эти системы должны учитывать специфику каждой технологии, которая применяется в АСУ ТП. А таких технологий огромное

количество, и каждая применяется в своем конкретном случае (использование или не использование ОПС-сервера, разные языки программирования, разные интерфейсы).

В заключении хотелось бы отметить, что большинство современных систем защиты информации не имеют возможности учета каждой конфигурационной особенности предприятия. Каждое отдельно взятое предприятие имеет свои специфические особенности. Но постараться учесть такие моменты возможно с использованием специальных инструментов, которые включают в себя технологии программирования функций защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аудит безопасности информационной системы / Н. Скабцов. – Санкт-Петербург: Издательский дом «Питер», 2018. – 272 с.
2. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. Учеб. Для вузов / М.М. Благовещенская, Л.А. Злобин – Москва: Высшая школа, 2005. – 768 с.
3. Безопасность систем SCADA и АСУ-ТП. – URL: <https://modcon.ru/wp-content/uploads/2014/04/SCADA-Security-rus.pdf>
4. Industrial cybersecurity / П. Акерман. Великобритания: Издательство «Packt Publishing», 2017. – 456 с.
5. Подтопельный В.В. Особенности адресной защиты в АСУ ТП БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы VI Международного Балтийского морского форума 3-6 сентября 2018 года [Электронный ресурс]: В 6 томах. Т. 2. «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», VI Международная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – 1 электрон. опт. диск. С. 456 - 463

FEATURES OF THE INFORMATION SECURITY AUDIT MECHANISMS OF SCADA-SYSTEMS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS OF THE ENTERPRISE

Babaeva Alina Andreevna, art. lecturer, information security department

Baltic fishing state academy FSBEI HE “KSTU”, Kaliningrad, Russia,
e-mail: pandora_dark@mail.ru

The mechanisms of audit of information security of SCADA-systems at enterprises with automated control systems are considered. The specifics of the development of mechanisms for scanning and blocking malicious programs are being studied. The features of the information security system in SCADA systems are being studied. The structure of audit mechanisms in such systems is given.

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СИСТЕМ СВЯЗИ С ОГРАНИЧЕННОЙ ЧАСТОТНОЙ ПОЛОСОЙ КАНАЛОВ

¹Власова Ксения Валерьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент

²Пахотин Валерий Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

³Петров Сергей Васильевич, аспирант ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

⁴Симонов Роман Валерьевич, аспирант ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

¹Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹p_ksenia@mail.ru

²Институт физико-математических наук и информационных технологий БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия, e-mail: ^{2,3,4}VPakhotin@kantiana.ru

Рассмотрена проблема уплотнения каналов в системах связи с ограниченной частотной полосой. Предложено решение этой проблемы на основе фильтров максимального правдоподобия, позволяющих проводить фильтрацию канальных сигналов из состава группового сигнала в области их неортогональности. Выведены выражения, определяющие структуру, импульсные и частотные характеристики фильтров максимального правдоподобия. Приведены результаты модельных расчетов, иллюстрирующих потенциальные возможности решения проблемы уплотнения каналов в системах связи. Анализируются потенциальные возможности фильтрации сигнальных созвездий в двухканальной системе связи с малым частотным различием каналов.

Введение

Современные системы связи характеризуются достаточно высокой эффективностью использования выделенной полосы частот и скоростью передачи информации. Однако постоянно возрастающая потребность в передаче информационных потоков приводит к острому дефициту частотных полос и необходимости решения задачи уплотнения каналов связи. В настоящее время эта задача частично решается за счет развития методов сжатия информации, за счет использования частотно-амплитудно-фазовой модуляции, за счет разработки систем связи в новых частотных диапазонах. Однако эти возможности решения задачи уплотнения каналов связи в настоящее время практически исчерпаны. В связи с этим актуальными и востребованными являются исследования направленные на развитие новых методов уплотнения каналов связи.

Анализ функционирования существующих систем связи приводит к выводу, что основным ограничением для них является известное в радиотехнике соотношение неопределенности, связывающее (для простых сигналов) эффективную ширину спектра сигнала ΔF с эффективной длительностью сигнала ΔT ($\Delta F \Delta T \leq 1$) [1,2,3]. Фактически соотношение неопределенности разделяет совокупность сигналов, используемых в системах связи, на две области. К первой области (области ортогональности) относятся сигналы, которые взаимодействуют на уровне боковых лепестков спектров или корреляционных функций. Ко второй области (области неортогональности) относятся сигналы, которые взаимодействуют своими основными лепестками спектров или корреляционных функций. Эффективность систем связи (удельная скорость передачи $K = \frac{C}{\Delta F}$ бит/сек/Гц), в которых используются сигналы из первой области, определяется теоремой Шеннона. Теорема Шеннона устанавливает предельную скорость передачи информации C , зависящую от ширины выделенной полосы частот ΔF и отношения энергии сигнала к энергии шума $\frac{E_c}{E_{ш}}$ [3].

$$C = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{E_c}{E_{ш}} \right) \quad (1)$$

Если $\frac{E_c}{E_{ш}} = 1$, тогда скорость передачи информации по Шеннону определяется лишь выделенной полосой частот ΔF , равной в этом случае ширине основного лепестка спектра передаваемого символа (сигнала). В современных системах связи для ограничения сигнала во времени и исключения боковых лепестков в спектре сигнала используют модуляцию сигнала оконными функциями [6]. В этом случае длительность символа не меняется и скорость передачи символов определяется теоремой Шеннона. Однако эффективная ширина основного лепестка спектра сигнала ΔF увеличивается и эффективность использования полосы частот уменьшается. Это учитывается введением частотных защитных интервалов. Основной целью настоящей работы является обоснование возможности использования в системах связи неортогональных сигналов, относящихся ко второй области, к области в которой соотношение неопределенности не выполняется, и оценка потенциально достижимой эффективности и потенциально возможной скорости передачи информации в, такого рода, системах связи.

1.1 Основные положения теории

Анализ функционирования существующих систем связи показывает, что основным блоком, ограничивающим их эффективность и скорость передачи данных является блок фильтрации канальных сигналов из группового сигнала. Неортогональные сигналы, которые характеризуются частичным совмещением во времени (с частично совпадающими корреляционными функциями) или частично совмещенными по частоте спектрами не могут быть отфильтрованы существующими фильтрами. Однако метод максимального правдоподобия [1,2,3] позволяет определить структуру новых фильтров. Они представлены в [4,5] как фильтры максимального правдоподобия. Их основой являются уравнения правдоподобия. Уравнения правдоподобия содержат информацию о корреляционных взаимосвязях сигналов, содержащихся в групповом сигнале. Их решение при известных частотах сигналов ω_m ($m = 1 \div M$) определяет структуру фильтров максимального правдоподобия, которые содержат в себе составляющие, исключаящие воздействие сопутствующих сигналов на выделенный сигнал. Рассмотрим вопросы формирования фильтров максимального правдоподобия более подробно. Запишем принятую реализацию $\hat{Y}(t)$ в виде суммы радиоимпульсов и аддитивного шума $\hat{U}_{ш}(t)$.

$$\hat{Y}(t) = \sum_{m=1}^M \hat{U}_m \exp(i \omega_m t) + \hat{U}_{ш}(t) \quad (2)$$

\hat{U}_m – комплексная амплитуда m - сигнала.

ω_m – круговая частота m - сигнала.

$\hat{U}_{ш}(t)$ – аддитивный шум, квадратурные компоненты которого имеют нормальное распределение с дисперсией σ^2 и средним нулевым значением.

На основании (2) запишем функционал правдоподобия.

$$\Delta(\hat{U}_1, \dots, \hat{U}_M, \omega_1, \dots, \omega_M) = \int_0^T \left| \hat{Y}(t) - \sum_{m=1}^M \hat{U}_m \exp(i \omega_m t) \right|^2 dt \quad (3)$$

Функционал правдоподобия представляет собой поверхность в пространстве оцениваемых (штрихованных) параметров. Минимум поверхности определяет оптимальные оцениваемые параметры. Дифференцируя (3) по амплитудам и приравнивая дифференциалы нулю, получим уравнения правдоподобия. Запишем их в векторном виде.

$$\bar{\beta}(\omega_1, \dots, \omega_M) = \hat{R}(\omega_1, \dots, \omega_M) \bar{U}(\omega_1, \dots, \omega_M) \quad (4)$$

$$\beta_m(\omega_1, \dots, \omega_M) = \int_0^T \hat{Y}(t) \exp(-i \omega_m t) dt$$

$\hat{R}_{m,k} = \exp(i(\omega_k - \omega_m))$ – элементы корреляционной матрицы.

$\bar{U}(\omega_1, \dots, \omega_M)$ – вектор комплексных амплитуд с составляющими $\hat{U}_m(\omega_1, \dots, \omega_M)$.

Решая векторное уравнение (4) получим следующее.

$$\bar{U}(\omega_1, \dots, \omega_M) = \hat{R}^{-1}(\omega_1, \dots, \omega_M) \bar{\beta}(\omega_1, \dots, \omega_M) \quad (5)$$

$\hat{R}^{-1}(\omega_1, \dots, \omega_M)$ – матрица, обратная корреляционной матрице.

Корреляционная матрица содержит все корреляционные взаимосвязи между радиоимпульсами, содержащимися в групповом сигнале. Обратная корреляционная матрица содержит составляющие, исключая влияние сопутствующих сигналов на выделенный сигнал. В системах связи частоты сигналов $\omega_1, \dots, \omega_M$, содержащихся в групповом сигнале, как правило, известны. Следовательно, детерминант корреляционной матрицы, в принципе, отличен от нуля и уравнения правдоподобия можно использовать для оценки комплексных амплитуд, т.е. для фильтрации неортогональных сигналов. Если в выражении (5) ввести вектор \bar{X} с компонентами $X_m = \exp(-i\omega_m t)$, тогда можно получить выражение для импульсной характеристики линейного m -фильтра максимального правдоподобия

$$\hat{H}_m(\omega_1, \dots, \omega_M) = \sum_{k=1}^M \hat{R}^{-1}_{m,k} \hat{X}_k \quad (6)$$

Преобразование Фурье от импульсной характеристики (6) определяет частотную характеристику m -фильтра максимального правдоподобия.

$$\hat{G}_m(\omega, \omega_1, \dots, \omega_M) = \sum_{k=1}^M \hat{R}^{-1}_{m,k} \int_0^T \exp(i(\omega - \omega_k)t) dt \quad (7)$$

1.2. Результаты модельных исследований

Рассмотрим потенциальные возможности фильтров максимального правдоподобия в области неортогональности с помощью модельных расчетов. При моделировании принято следующее. Групповой сигнал содержит два радиоимпульса с известными несущими частотами. Амплитуды радиоимпульсов равны 1 и 0.5. Начальные фазы радиоимпульсов равны 30 и 110 градусов. Частота первого радиоимпульса равна 2 кГц, частота второго радиоимпульса меняется линейно в пределах 1.85÷2.35 кГц с шагом 2 Гц. Длительность радиоимпульсов 10 мс. Следовательно, область неортогональности радиоимпульсов по частоте будет при разности частот менее 100 Гц при значении частоты второго радиоимпульса, находящейся в интервале 1.9÷2.1 кГц.

Рассмотрим результаты фильтрации радиоимпульсов, модулированными оконной функцией Чебышева. Длительность канальных сигналов при этом не меняется. Однако ширина спектра сигналов увеличивается практически вдвое, а боковые лепестки подавляются на -45 дБ. На рисунке 1 слева вверху показан вид группового сигнала, содержащего два, модулированных оконной функцией Чебышева, радиоимпульса. На рисунке вверху справа показаны спектры канальных сигналов. Они ограничены по частоте, однако их ширина увеличена почти в 2 раза. На рисунке внизу справа показан результат фильтрации фильтрами Фурье при изменении несущей частоты второго канального сигнала от 1.75 до 2.2 кГц. Влияние боковых лепестков практически отсутствует однако оценка амплитуд двух сигналов неудовлетворительная в диапазоне частот от 1.85 до 2.2 кГц (диапазон отмечен вертикальными линиями). На рисунке внизу слева показан результат фильтрации фильтрами максимального правдоподобия. Оценки амплитуд вполне удовлетворительные за исключением узкой частотной полосы шириной 10 Гц. Сравнивая выделенные частотные полосы можно сделать вывод о возможности создания систем связи с частотным разнесением сигналов с ограниченным спектром на величину от 10 Гц и более. Предельное разнесение, меньше в 35 раз частотного разнесения, определяемого соотношением неопределенности (350 Гц). Эффективность таких систем связи, а также скорость передачи информации, за счет возможности создания дополнительных каналов связи, существенно увеличатся.

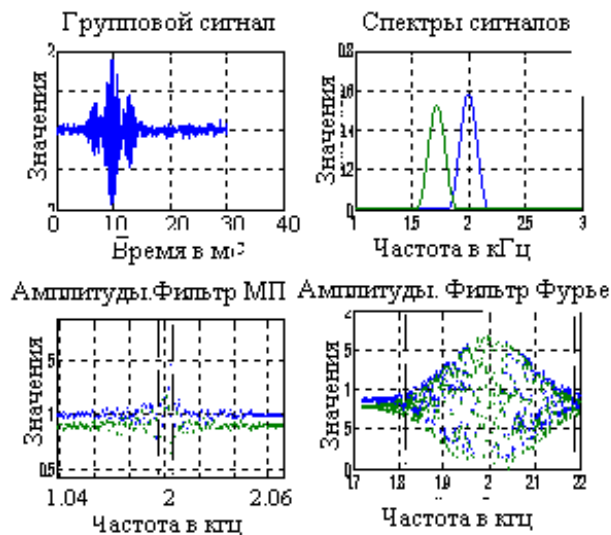


Рис. 1. Результаты фильтрации радиоимпульсов, модулированных оконной функцией Чебышева, фильтрами максимального правдоподобия и фильтрами Фурье

Сигнальное созвездие. Два частотных канала

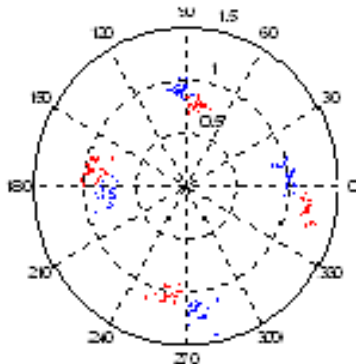


Рис. 2. Оценки параметров четырех символов сигнального созвездия в двух частотных каналах

На рис.2 показаны оценки амплитуд и фаз, полученные при фильтрации фильтрами максимального правдоподобия сигнального созвездия в двух частотных каналах с несущими частотами 2 и 2.01 кГц. Сигнальное созвездие в каждом канале состоит из последовательности четырех радиоимпульсов, модулированных оконной функцией Чебышева. Спектр символов ограничен по частоте значением 0.19 кГц. Боковые лепестки ограничены уровнем – 45 дБ. Значения амплитуд и фаз сигнального созвездия представлены в таблице

Таблица 1

$F1 = 2 \text{ кГц}$	U_{1m}	1	0.9	0.8	1.2
	φ_{1m} град.	5	95	185	275
$F2 = 2.01 \text{ кГц}$	U_{2m}	1.2	0.8	0.9	1
	φ_{2m} град.	-10	80	170	260

При отношении сигнал/шум 20 дБ скорость передачи каждого символа в канале по Шеннону равна 0.1 килобит/сек. При ограничении ширины спектральной линии символа значением 0.19 кГц за счет оконной модуляции, скорость передачи символа сохраняется. Однако эффективность использования частотного диапазона системы связи уменьшается. Эффективность использования частотной полосы определяется как отношение скорости передачи символов к реальной полосе частот $K = \frac{c}{\Delta F}$. Согласно выражению Шеннона эффективность использования частотной полосы в данном случае

равна 1 бит/сек/Гц. При ограничении ширины спектральной линии с помощью оконной функции эффективность использования частотной полосы будет равна 0.52 бит/сек/Гц. При использовании фильтров максимального правдоподобия на частотном интервале двух каналов можно создать дополнительно 19 каналов. В каждом канале скорость передачи символа равна предельной скорости Шеннона в связи с тем, что длительность символа не меняется. Однако за счет увеличения количества каналов общая скорость передачи информации увеличивается в 19 раз. Эффективность использования частотной полосы при этом также увеличивается в 19 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. Учеб. пособие для вузов. – М.: Радиотехника, 2003, 400 с.
2. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. «Сов. Радио» 1974, 360 с.
3. Радиотехнические системы: Учеб. пособие для вузов по специальности «Радиотехника» / Ю.П.Гришин, В.П.Ипатов, Ю.М.Казаринов и др.; под редакцией Ю.М.Казаринова. – М.: Высшая школа, 1990. – 496 с.
4. В.А. Пахотин, В.М. Анискевич. Частотное уплотнение каналов связи на основе неортогональных сигналов. Цифровая обработка сигналов и ее применение: сборник докладов 16-й Международной конференции и выставки. – Москва, 2014. – Вып. XVI – С. 296-300.
5. В.А. Пахотин, В.И. Строков, А.Н. Алещенко. Неортогональные сигналы в системах связи с частотным разделением каналов. «Радиолокация. Навигация. Связь»: сборник докладов 20-й международной научно-технической конференции. – Воронеж, НПФ «Саквоее», 2014. – С. 354.
6. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Оконные функции для гармонического анализа сигналов, М.: Техносфера, 2014. – 112 с. ISBN 978-5-94836-378-8

POTENTIAL OF COMMUNICATION SYSTEMS WITH LIMITED FREQUENCY BAND OF CHANNELS

¹Vlasova Ksenia Valerievna, Cand. physical-mat. Sciences, Associate Professor;

²Pakhotin Valery Anatolievich, Doctor of Phys.-mat. Sci., Professor, Professor of the Institute of Physics and Mathematics and IT IKBFU I. Kant.

³Petrov Sergey Vasilievich, Ph.D. IFMN and IT IKBFU I. Kant;

⁴Simonov Roman Valerievich, Ph.D. IFMN and IT IKBFU I. Kant;

¹ Baltic fishing state academy FSBEI HE “KSTU”, Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹p_ksenia@mail.ru

²Institute of Physical and Mathematical Sciences and Information Technologies, IKBFU, I. Kant,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ^{2,3,4}VPakhotin @kantiana. ru

The problem of channel multiplexing in communication systems with a limited frequency band is considered. A solution to this problem is proposed on the basis of maximum likelihood filters, which allow filtering channel signals from a signal group in the region of their non-orthogonality. Expressions are derived that determine the structure, impulse and frequency characteristics of filters of maximum likelihood. The results of model calculations are presented, illustrating the potential for solving the problem of channel multiplexing in communication systems. Potential filtering capabilities of signal constellations in a two-channel communication system with a small frequency difference of channels are analyzed.

К ВОПРОСУ ОПТИМАЛЬНОСТИ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ

¹Власова Ксения Валерьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент

²Пахотин Валерий Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, профессор,
профессор ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

³Симонов Роман Валерьевич, аспирант ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

⁴Бессонов Владимир Александрович, канд. физ.-мат. наук,
доцент ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

¹Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹p_ksenia@mail.ru

²Институт физико-математических наук и информационных технологий
БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия, e-mail: ^{2,3,4}VPakhotin @kantiana.ru

В настоящей работе анализируются вопросы оптимальности методов обработки сигналов, используемых в радиотехнических комплексах аппаратуры. Вводится условие на интервал корреляции случайного вектора параметров совокупности сигналов, расширяющее область применения метода максимального правдоподобия в условиях априорной и параметрической неопределенности. Приводятся доказательства того, что известные методы спектрального, корреляционного анализа, углового спектрального анализа являются частными случаями метода максимального правдоподобия. Область их применения для обработки сигналов ограничена. Они определяют оптимальные оценки параметров сигнала лишь в случае, когда в принятой реализации содержится одиночный сигнал. Ограниченность области применения методов спектрального, корреляционного анализа приводит к ограниченности известного в радиотехнике соотношения неопределенности, а также, связанной с ним теоремы Шеннона о предельной скорости передачи информации в системах связи.

Введение

Теория оптимальной обработки сигналов [1÷6] включает в себя метод Байеса и метод максимального правдоподобия. Метод Байеса используется при самой общей постановке задач, когда вектор параметров является случайным процессом и априорно известны его плотности распределения. Он основан на минимизации среднего риска, когда функция потерь усредняется с помощью двумерной плотности распределения, зависящей от случайного вектора параметров и принятых реализаций. Основой метода максимального правдоподобия [1÷6] является минимизация функции риска, когда функция потерь усредняется с помощью условной плотности распределения, которая определяется как функция правдоподобия. Метод максимального правдоподобия является частным случаем метода Байеса при условии, что вектор параметров сигнала является детерминированной величиной, и его плотность распределения определена дельта-функцией. Общность постановки статистических задач радиотехники и случайность вектора параметров сигналов в методе Байеса приводит к необходимости приема одной или ряда последовательных реализаций, на основании которых оценивается среднее (модовое, медианное) значение вектора параметров сигналов. Оно является основой решения задачи обнаружения сигнала, различения сигналов, фильтрации сигнала на фоне случайной помехи. Методом Байеса сложно решать задачу разрешения сигналов, а, следовательно, и статистические задачи радиотехники при условии, что в принятых реализациях содержится ряд сигналов. С практической точки зрения метод максимального правдоподобия является более востребованным методом. Оценка вектора параметров этим методом производится на основе одной принятой реализации. Полученная оценка вектора параметров сигналов, является основой решения основных статистических задач радиотехники, в том числе и решения задачи разрешения сигналов. Уточним границу применения метода максимального правдоподобия. Считая вектор параметров сигнала случайным, как этого требует Байесовский подход, уточним его смысл введением интервала корреляции.

Разделим класс случайных сигналов условием $\tau_{ck} \geq T$: интервал корреляции τ_{ck} каждой составляющей вектора параметров больше длительности сигнала T , которое обычно определяет интервал обработки. В этом случае вектор параметров сигнала будет практически постоянен на интервале обработки и, вместо Байесовского метода, можно использовать метод максимального правдоподобия. Учитывая, что длительность сигналов в диапазоне радиочастот в современных комплексах аппаратуры порядка микросекунд и менее, можно считать, что класс случайных сигналов, помех, для которых выполняется указанное условие достаточно широк. Введенное ограничение на случайные сигналы существенно расширяет область применения метода максимального правдоподобия. В результате по новому решаются основные задачи статистической радиотехники: задача обнаружения сигнала, задача различения сигналов, задача оценки параметров [1,2], задача разрешения [3,6] и задача фильтрации сигнала на фоне помех [7]. При обработке одной реализации можно будет получить соответствующие оценки параметров сигналов, которые будут характеризоваться определенной плотностью распределений. Это распределение можно будет оценить за счет приема последующих реализаций. В результате Байесовская задача в условиях априорной неопределенности будет решена методом максимального правдоподобия с последующей оценкой статистических закономерностей этого решения.

Основной целью настоящей работы является последовательное изложение основ метода максимального правдоподобия с оценкой потенциальных возможностей в решении статистических задач радиотехники.

1.1. Общие положения и терминология

Введем случайный вектор параметров сигналов $\bar{\lambda}$, имеющий распределение $P(\bar{\lambda})$ и ограниченный условием (1) для его k – случайных составляющих.

$$\tau_{ck} \geq T \quad (1)$$

При выполнении этого ограничения параметры сигналов постоянны на интервале обработки сигналов T и можно использовать, для обработки, метод максимального правдоподобия. Запишем квадратичную функцию потерь в общеизвестном виде [1÷6].

$$C = \left| \hat{\lambda} - \bar{\lambda} \right|^2 \quad (2),$$

где $\hat{\lambda}$ – оцениваемый вектор параметров сигналов.

Запишем средний риск в виде зависимости от вектора решений \bar{u}

$$r(\bar{u}) = \iint C(\hat{\lambda}, \bar{\lambda}) P(\bar{\lambda}, \bar{Y}) d\bar{\lambda} d\bar{Y} \quad (3)$$

$P(\bar{\lambda}, \bar{Y})$ – двумерная плотность распределения случайного вектора параметров $\bar{\lambda}$ и множества реализаций \bar{Y} .

При наличии полной априорной информации о плотности распределения $P(\bar{\lambda}, \bar{Y})$ оптимальным Байесовским решением будет u_0 среди возможных решений \bar{u} , которое минимизирует средний риск (3).

$$r(u_0) = \min_{\bar{u}} \iint C(\bar{u}(\bar{Y}), \bar{\lambda}) P(\bar{\lambda}, \bar{Y}) d\bar{\lambda} d\bar{Y} \quad (4)$$

Используя формулу Байеса, запишем (4) в виде

$$r(u_0) = \min_{\bar{u}} \iint C(\bar{u}(\bar{Y}), \bar{\lambda}) P(\bar{Y}/\bar{\lambda},) P(\bar{\lambda}) d\bar{\lambda} d\bar{Y}$$

При выполнении условия (1) плотность распределения $P(\bar{\lambda})$ на интервале обработки (локально) является дельта функцией. Следовательно, можно из (4) получить функцию риска $\tilde{r}(u_0, \bar{\lambda})$, зависящую от вектора параметров $\bar{\lambda}$ на интервале обработки.

$$\tilde{r}(u_0, \bar{\lambda}) = \min_{\bar{u}} \int C(\bar{u}(\bar{Y}), \bar{\lambda}) P(\bar{Y}/\bar{\lambda},) d\bar{Y} \quad (5)$$

С изменением реализации вектор $\bar{\lambda}$ может меняться случайным образом от реализации к реализации.

Минимизация функции риска (5) является основой метода максимального правдоподобия. Условная плотность распределения $P(\bar{Y}/\bar{\lambda},)$ является функцией правдоподобия $L(\hat{\lambda})$. Максимум этой функции определяет минимум функции риска. При нормальном распределении шумового процесса $\hat{U}_{ш}(t)$ со средним значением, равным нулю, дисперсией σ^2 и интервалом корреляции τ_k , аналитическое выражение для функции правдоподобия $L(\hat{\lambda})$ общеизвестно [1,2].

$$L(\hat{\lambda}) = Cons \exp\left(\frac{-1}{2\sigma^2\tau_k} \int_0^T |\hat{y}(t) - \hat{S}(\hat{\lambda}, t)|^2 dt\right) \quad (6)$$

$Cons$ – постоянная нормировки.

$\hat{y}(t)$ – принятая реализация в комплексном виде, содержащая сигнал $\hat{S}(\hat{\lambda}, t)$ и аддитивный нормальный шум $\hat{U}_ш(t)$.

Функция правдоподобия представляет собой поверхность в многомерном пространстве оцениваемых параметров сигнала $\hat{\lambda}$ [6,7]. Максимум функции правдоподобия определяет наиболее вероятное значение вектора параметров $\hat{\lambda}_{max}$. Следовательно, процедура минимизации функции потерь $C = |\hat{\lambda} - \bar{\lambda}|^2$ связана с перебором значений вектора параметров $\hat{\lambda}$ и критерием отбора оптимального решения является максимум функции правдоподобия $\hat{\lambda} = \hat{\lambda}_{max}$. При этом достигается минимум функции потерь $C_{min} = |\hat{\lambda}_{max} - \bar{\lambda}|^2$ и минимум функции риска

$$\tilde{r}_{min} = M(C_{min}) = M(|\hat{\lambda}_{max} - \bar{\lambda}|^2) = D_{\bar{\lambda}}. \quad (7)$$

Минимум функции риска равен дисперсии вектора параметров сигналов Рао-Крамера. Если вектор параметров сигналов $\bar{\lambda}$ меняется от реализации к реализации согласно условию (1) и имеет дискретную плотность распределения $P(\bar{\lambda}_k)$, тогда функция потерь $C_{min,k}$ и функция риска $\tilde{r}_{min,k}$ будут характеризоваться индексом «к». В этом случае, по ряду принятых реализаций $\hat{y}(t)_k$ ($k = 1 \div K$) можно оценить плотность распределения вектора параметров сигнала $P(\bar{\lambda}_k)$ или оценить среднее (модальное, медианное) значение вектора параметров сигнала $\bar{\lambda}$. Появляется возможность преодоления априорной неопределенности. Рисунок 1 иллюстрирует вышеприведенное, для случая, когда индекс равен $k = 1 \div 2$.

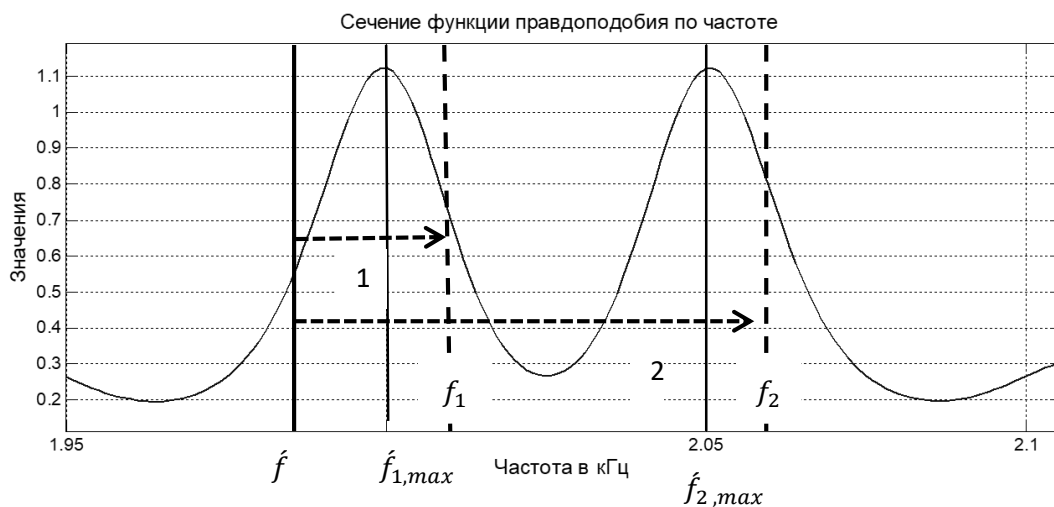


Рис.1. Сечение функции правдоподобия по оценке частоты \hat{f} в случае, когда истинное значение частоты может принимать два случайных значения f_1 и f_2 .

На рисунке 1 отмечены цифрой 1 (стрелка) функция потерь $C_1 = |f_1 - \hat{f}|^2$ и цифрой 2 (стрелка) функция потерь $C_2 = |f_2 - \hat{f}|^2$. Перебирая значения оценки частоты \hat{f} , можно по положению максимумов функции правдоподобия определить оценки частот $\hat{f}_{1,max}, \hat{f}_{2,max}$, которые определяют минимальные функций потерь $C_{1,min} = |f_1 - \hat{f}_{1,max}|^2$ и $C_{2,min} = |f_2 - \hat{f}_{2,max}|^2$.

При такой технологии решения, в принципе, вначале возможно решение задачи разрешения сигналов по частоте, по времени приема, по угловым координатам, а затем оценка (раздельная) плотностей распределения.

1.2. Оптимальность спектрального, корреляционного и углового спектрального анализа при оценке параметров сигналов

В настоящее время для решения статистических задач радиотехники часто используются хорошо известные методы спектрального, корреляционного, углового корреляционного анализа. Они оптимальны, если в принятой реализации содержится один сигнал. Однако они становятся неоптимальными, если в принятой реализации содержится совокупность сигналов. В этом случае отмечается наличие систематических интерференционных погрешностей, возникающих за счет взаимодействия сигналов на уровне боковых лепестков спектральных, корреляционных или угловых спектральных функций. Появляется необходимость введения критерия разрешения отдельных пар сигналов, типа критерия Рэлея, при взаимодействии сигналов на уровне основных лепестков соответствующих функций. Покажем, что спектральный, корреляционный и угловой спектральный анализы являются частным случаем метода максимального правдоподобия. Более того, докажем их оптимальность лишь в случае, когда в принятой реализации содержится один сигнал.

Запишем принятую реализацию $\hat{Y}(t)$ в виде суммы M -сигналов и аддитивного нормального шума $\hat{U}_{ш}(t)$, со средним значением, равным нулю, дисперсией σ^2 и интервалом корреляции τ_k .

$$\hat{Y}(t) = \sum_{m=1}^M \hat{U}_m \exp(i \omega_m t) + \hat{U}_{ш}(t) \quad (8)$$

\hat{U}_m – комплексная амплитуда m – сигнала.

ω_m – круговая частота m – сигнала.

На основании (8) запишем функционал правдоподобия

$$\Delta(\hat{\lambda}) = \int_0^T \left| \hat{Y}(t) - \sum_{m=1}^M \hat{U}_m \exp(i \omega_m t) \right|^2 dt \quad (9)$$

$\hat{\lambda}$ – вектор, оцениваемых параметров сигналов.

Штрихом обозначены оценки параметров сигналов

T – длительность сигнала.

При оптимальности левая $\hat{Y}(t)$ и правая $\sum_{m=1}^M \hat{U}_m \exp(i \omega_m t)$ части функционала правдоподобия одинаковы, т.е. выполняется условие (в асимптотике, когда отношение сигнал/шум стремится к бесконечности): оцениваемый вектор параметров сигналов равен истинному вектору параметров $\hat{\lambda} = \bar{\lambda}$. При этом условии математическое ожидание от функционала правдоподобия (9) равно минимальному значению, которое определяет дисперсию шума σ^2 в принятой реализации.

$$M \left(\Delta(\hat{\lambda} = \bar{\lambda}) \right) = \int_0^T M |\hat{U}_{ш}(t)|^2 dt = \sigma^2 T \quad (10)$$

Всякое несоответствие правой и левой частей функционала приводит к увеличению минимума функционала правдоподобия, а следовательно, к неоптимальности оценки вектора параметров сигнала. Сопоставим принятую реализацию, содержащую M – сигналов одиночному сигналу в правой части функционала.

$$\Delta(\hat{\lambda}) = \int_0^T \left| \hat{Y}(t) - \hat{U}_0 \exp(i \omega t) \right|^2 dt \quad (11)$$

При дифференцировании (11) по амплитуде получим выражение, определяющее преобразование Фурье (основа спектрального анализа)

$$\hat{U}_0(\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{Y}(t) \exp(-i \omega t) dt \quad (12)$$

Математическое ожидание от (12) определяет сумму спектров сигналов, содержащихся в реализации.

$$M(\hat{U}_0(\omega)) = \frac{1}{T} M \int_0^T \hat{Y}(t) \exp(-i \omega t) dt = \frac{1}{T} \sum_{m=1}^M \int_0^T \hat{U}_m \exp(i(\omega_m - \omega)t) dt \quad (13)$$

Следовательно, преобразование Фурье (спектральный анализ) является частным случаем метода максимального правдоподобия и оно дает оптимальную оценку вектору параметров сигналов лишь при условии, что в реализации содержится одиночный сигнал. При одиночном сигнале в принятой реализации правая и левая части функционала (5) совпадают, и достигается минимум функционала правдоподобия. Аналогичное доказательство можно привести для корреляционного метода обработки и для углового спектрального анализа. Данный вывод является важным для радиотехники. Он определяет следующее. Известные в радиотехнике соотношения неопределенности, устанавливающие взаимосвязь эффективной длительности сигнала T и эффективной ширины

спектра сигнала ΔF ($\Delta F = \frac{1}{T}$), ширину корреляционной функции τ и эффективную ширину спектра ΔF для простых и широкополосных сигналов ($\Delta F = \frac{1}{\tau}$), ширину диаграммы направленности $\Delta\alpha$ и апертуру антенной системы ΔL , справедливы лишь для одного сигнала. Попытки применить соотношение неопределенности к совокупности двух сигналов, когда вместо равенства ставится знак неравенства ($\Delta F \geq \frac{1}{T}$), приводит к теории разрешения в радиотехнике, основанной на функции неопределенности. В известной литературе [1, 2, 4] вопросы разрешения сигналов излагаются на основе функции неопределенности. В промышленности комплексы аппаратуры разрабатываются на основе функции неопределенности. Метод максимального правдоподобия позволяет снять ограничения, связанные с функцией неопределенности, с разрешением сигналов / 1,2,3,4 /. При этом получаемые решения остаются оптимальным в связи с тем, что правая и левая части функционала правдоподобия оказываются согласованными. Таким образом, на смену неоптимальным методам обработки (спектральному, корреляционному, угловому спектральному анализу) приходит оптимальная обработка совокупности сигналов методом максимального правдоподобия. Она может существенно повысить эффективность решения статистических задач радиотехники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. Учеб. пособие для вузов. - М.: Радиотехника, 2003, 400 с.
2. Тихонов В.Н. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
3. Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. «Сов. Радио» 1974, 360 с.
4. Радиотехнические системы: Учеб. пособие для вузов по специальности «Радиотехника» / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др.; под редакцией Ю.М. Казаринова. - М.: Высшая школа, 1990. - 496 с.
5. Пахотин В.А., Симонов Р.В., Власова К.В., Петров С.В. Оптимальный приемник для обнаружения совокупности сигналов с неизвестными параметрами. Цифровая обработка сигналов. 2020. №4. С. 36-42.
6. Пахотин В.А., Власова К.В., Симонов Р.В., Петров С.В. Оптимальная обработка сигналов с высоким разрешением. Мягкие измерения и вычисления. 2019. №4 (17). С. 57-71.
7. Пахотин В.А., Власова К.В., Бессонов В.А., Молостова С.В., Симонов Р.В., Пешегорин Е.Е. Технология обработки информации, основанная на анализе преобразованного функционала правдоподобия. Наука. Общество. Оборона. 2019. №1 (18). С.10.
8. Чернова И.Б., Пахотин В. А., Молостова С.В., Строков В.И. Адаптивная фильтрация сложных сигналов на фоне помех. DSPA: Вопросы применения цифровой обработки сигналов. 2016. Т.6. №3. С. 523-527.
9. Петров С. В., Власова К. В., Пахотин В.А., Пешегорин Е.Е. Уплотнение частотной полосы в системах связи с частотным разделением каналов. В сборнике; Современные технологии обработки сигналов, 2-я Всероссийская конференция. 2019. С. 95-99.

ON THE QUESTION OF OPTIMALITY OF SIGNAL PROCESSING METHODS

¹Vlasova Ksenia Valerievna, Cand. physical-mat. Sciences, Associate Professor

²Pakhotin Valery Anatolievich, Doctor of Phys.-mat. Sci., Professor, Professor of the Institute of Physics and Mathematics and IT IKBFU I. Kant

³Simonov Roman Valerievich, Ph.D. IFMN and IT IKBFU I. Kant

⁴Bessonov Vladimir Alexandrovich, Cand. Physics and Mathematics, Sciences, Associate Professor of the Institute of Physics and Mathematics and IT IKBFU Kant

¹ Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU», Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹p_ksenia@mail.ru

²Institute of Physical and Mathematical Sciences and Information Technologies, IKBFU, I. Kant, Kaliningrad, Russia, e-mail: ^{2,3,4}VPakhotin @kantiana. ru

The present paper analyzes issues of optimality of signal processing methods used in radio equipment complexes. A condition is introduced for a correlation interval of a random vector of parameters of a set of signals, which extends the scope of application of the maximum likelihood method in conditions of a priori and parametric uncertainty. Evidence is given that the known methods of spectral, correlation analysis, angular spectral analysis are particular cases of the maximum likelihood method. Their applications for signal processing are limited. They determine optimal estimates of signal parameters only when a single signal is contained in the received implementation. The limited application of spectral, correlation analysis methods leads to the limited uncertainty ratio known in radio engineering, as well as the associated Shannon theorem on the limit rate of information transfer in communication systems.

УДК 621.396.677

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ РАБОЧЕГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ НА НАПРАВЛЕННЫЕ СВОЙСТВА ЛОГОПЕРИОДИЧЕСКОГО ОБЛУЧАТЕЛЯ

¹Волхонская Елена Вячеславовна, д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры судовых радиотехнических систем

²Коротей Евгений Владимирович, доцент кафедры судовых радиотехнических систем

³Власова Ксения Валерьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры судовых радиотехнических систем

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹volkhonskaya_e@mail.ru; ²eugeny_korotey@mail.ru; ³p_ksenia@mail.ru

В данной работе представлены результаты сравнительного анализа электрических параметров и характеристик излучения микрополосковых логопериодических антенн, функционирующих в С и С-Ки диапазонах. Показано, что расширение рабочего диапазона частот не только не приводит к ухудшению основных характеристик, но и стабилизирует их: разброс в значениях ширины диаграммы направленности уменьшается в среднем на 6,7 %, относительного уровня боковых лепестков – на 5,9 %, коэффициента усиления – на 9,1 %, коэффициента стоячей волны в питающем фидере – на 19,5 %.

Постановка задачи

Постоянное расширение спектра телекоммуникационных услуг, предоставляемых с использованием систем спутниковой связи, осуществляется, с одной стороны, за счет ввода в эксплуатацию новых спутников на геостационарной работе, а с другой стороны, за счет расширения их функционала путем одновременного функционирования в нескольких частотных диапазонах [1]. На сегодняшний день около 10% всех спутников связи функционирует в нескольких диапазонах, например С и Ки, Ку и Ка. Этот факт выдвигает на первый план задачу синтеза широкодиапазонных облучателей.

При решении задач спутниковой связи в качестве облучателей зеркальных антенн различной конструкции применяют рупорные антенны. Их основным достоинством является широкий диапазон рабочих частот с коэффициентом перекрытия до нескольких единиц. Также важным преимуществом по сравнению с другими антеннами СВЧ диапазона является низкий уровень боковых лепестков диаграммы направленности. В качестве основного недостатка такого облучателя стоит отметить его рассогласование со свободным пространством и волноводным фидером (коэффициент стоячей

волны до 2,0). Немаловажным также является факт затенения поверхности рефлектора ввиду относительно больших размеров таких облучателей [2].

Анализ основных характеристик рупорных антенн, выпускаемых промышленностью, позволил сделать вывод, что расширение рабочего диапазона частот у них сопровождается спадом коэффициента усиления антенны [3]. Так при небольших коэффициентах перекрытия 1,3 – 2,0 рупорные антенны имеют стандартный коэффициент усиления 15 – 25 дБи, а при расширении рабочей области частот (коэффициент перекрытия 8 – 10) обеспечиваемый ими коэффициент усиления падает до значений 6 – 16 дБи. Таким образом, в среднем, расширение рабочего диапазона частот в 2 раза сопровождается потерями в значении коэффициента усиления порядка 2 – 3 дБи.

Одним из технических решений, при котором можно сохранить коэффициент усиления рупорной антенны, является использование нескольких облучателей в конструкциях больших зеркальных антенн. При этом один из них располагается в фокусе контррефлектора, а другие вынесены из фокуса. Однако в данном случае усугубляется проблема затенения рефлектора и наблюдается спад общего коэффициента усиления зеркальной антенны.

Альтернативным решением является использование в качестве облучателей логопериодических антенн (ЛПА). Они также являются широкодиапазонными, однако лишены указанных недостатков и находят широкое применение в комплексах радиомониторинга, спутниковой связи и телерадиовещания [4].

В рамках данной работы был проведен сравнительный анализ направленных свойств и электрических параметров логопериодических антенн, функционирующих в С и С-Ку диапазонах.

Конструкции исследуемых антенн

В качестве ЛПА С диапазона была выбрана микрополосковая антенна, особенности конструкции и основные параметров которой приведено в описании патента [5]. В качестве ЛПА С-Ку диапазона была выбрана «монолитная антенна» (рис. 1), конструкция и основные параметры которой приведены в работах [6] и [7].

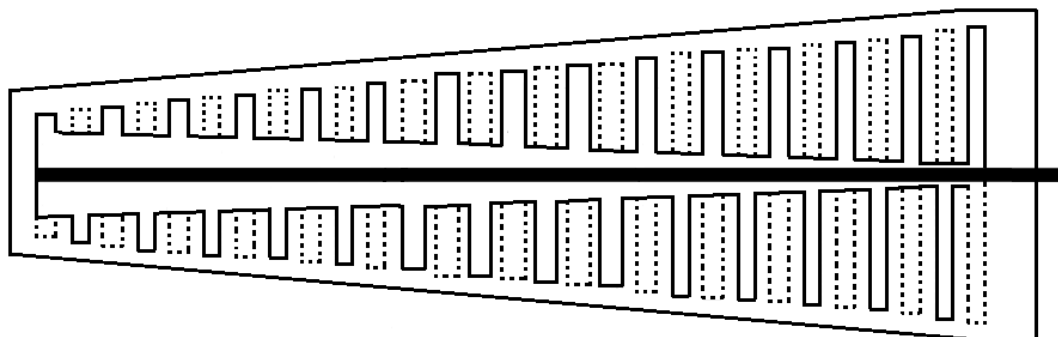


Рис. 1. Конструкция «монолитной антенны»

Методика проведения исследований

Математическая модель поля излучения логопериодической антенны С диапазона подробно описана в работе [8] и базируется на методе наведенных ЭДС и теории цепей с распределенными параметрами.

Для «монолитной антенны» С-Ку диапазона была заново проведена оптимизация логопериодической структуры в соответствии с программой оптимизации [9]. В качестве оптимизационного критерия использовалась стабильность направленных свойств в пределах рабочего диапазона частот.

Свойства обеих антенн были проанализированы на резонансных частотах излучающих элементов в диапазоне от 3,642 до 4,239 ГГц С диапазона. В качестве контролируемых параметров излучения и электрических параметров были выбраны ширина диаграммы направленности (ДН), относительный уровень боковых лепестков (УБЛ) и коэффициент усиления (КУ) в двух главных

плоскостях (Е-плоскости, перпендикулярной излучающим элементам ЛПА, и Н-плоскости, содержащей эти элементы), а также коэффициент стоячей волны напряжения (КСВН) в питающем фидере. Исследование их характеристик проводилось в соответствии с программой [10].

Результаты

В результате проведенных модельных исследований однодиапазонной и двухдиапазонной антенн были получены значения их основных параметров, приведенные в табл. 1 и табл. 2, соответственно.

На рис. 2 представлены графики зависимости ширины ДН данных антенн (рис. 2, а, б), относительного УБЛ (рис. 2, в, г), КУ (рис. 2, д, е) в Е-плоскости и Н-плоскости, соответственно, а также КСВН в питающем фидере (рис. 2, ж).

Таблица 1

Направленные свойства и электрические параметры однодиапазонной ЛПА

Рабочая частота, ГГц	Ширина ДН $\Delta\theta_E$, град.	Ширина ДН $\Delta\theta_H$, град.	КУ D_E , дБи	КУ D_H , дБи	УБЛ ξ_E , дБ	УБЛ ξ_H , дБ	КСВН
3,642	57,761	44,824	12,17	13,245	-23,359	-27,409	1,1
3,735	54,464	46,683	11,75	12,936	-19,918	-22,263	1,228
3,831	59,796	49,292	10,679	12,231	-17,306	-23,551	1,414
3,929	64,189	51,166	9,901	11,728	-16,499	-20,977	1,397
4,030	79,419	59,793	8,26	10,714	-19,838	-21,344	1,534
4,133	75,563	57,585	8,774	11,03	-15,7	-24,157	1,714
4,239	78,346	53,874	7,424	10,601	-14,988	-14,988	1,615

Таблица 2

Направленные свойства и электрические параметры двухдиапазонной ЛПА

Рабочая частота, ГГц	Ширина ДН $\Delta\theta_E$, град.	Ширина ДН $\Delta\theta_H$, град.	КУ D_E , дБи	КУ D_H , дБи	УБЛ ξ_E , дБ	УБЛ ξ_H , дБ	КСВН
3,642	56,36	47,97	11,493	12,743	-18,936	-24,984	1,190
3,735	57,758	47,752	10,721	12,311	-17,204	-21,143	1,156
3,831	51,724	44,472	11,124	12,766	-18,255	-24,358	1,173
3,929	54,51	46,438	11,429	12,816	-22,661	-29,498	1,203
4,030	54,514	46,301	11,658	12,878	-21	-29,201	1,203
4,133	58,557	48,725	10,475	12,183	-19,008	-22,132	1,194
4,239	65,136	51,932	9,187	11,463	-15,901	-21,232	1,166

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что в пределах С-диапазона двухдиапазонная антенна демонстрирует более стабильные направленные свойства по сравнению с однодиапазонной: разброс значений ширины диаграммы направленности уменьшается на 6,8% в Е-плоскости и 6,6% в Н-плоскости, достигается более низкий относительный уровень боковых лепестков ДН и уменьшается его разброс на 5,2% в Е-плоскости и 6,6% в Н-плоскости, достигаются преимущественно большие значения коэффициента усиления (в среднем на 1 дБи в Е-плоскости и на 0,7 дБи в Н-плоскости) и стабилизируются его значения (разброс уменьшается на 12,7% в Е-плоскости и 5,2% в Н-плоскости). В поведении КСВН наблюдается динамика к существенному

уменьшению среднего значения (в среднем на 15,5%) и уменьшению разброса значений в среднем на 19,5%. С ростом значения рабочей частоты наблюдался рост ширины ДН, максимального УБЛ и КСВН, а также спад КУ, однако данные изменения не выходили за пределы нормы [4].

Заключение

Таким образом, в работе показано, что использование структуры микрополосковой логопериодической антенны позволяет создавать облучатели больших зеркальных антенн, функционирующие в смежных диапазонах рабочих частот. Получаемые при этом характеристики излучения зеркальных антенн не только соответствуют предъявляемым к ним требованиям, но и демонстрируют большую стабильность в пределах рабочего диапазона частот, чем в случае однодиапазонной антенны.

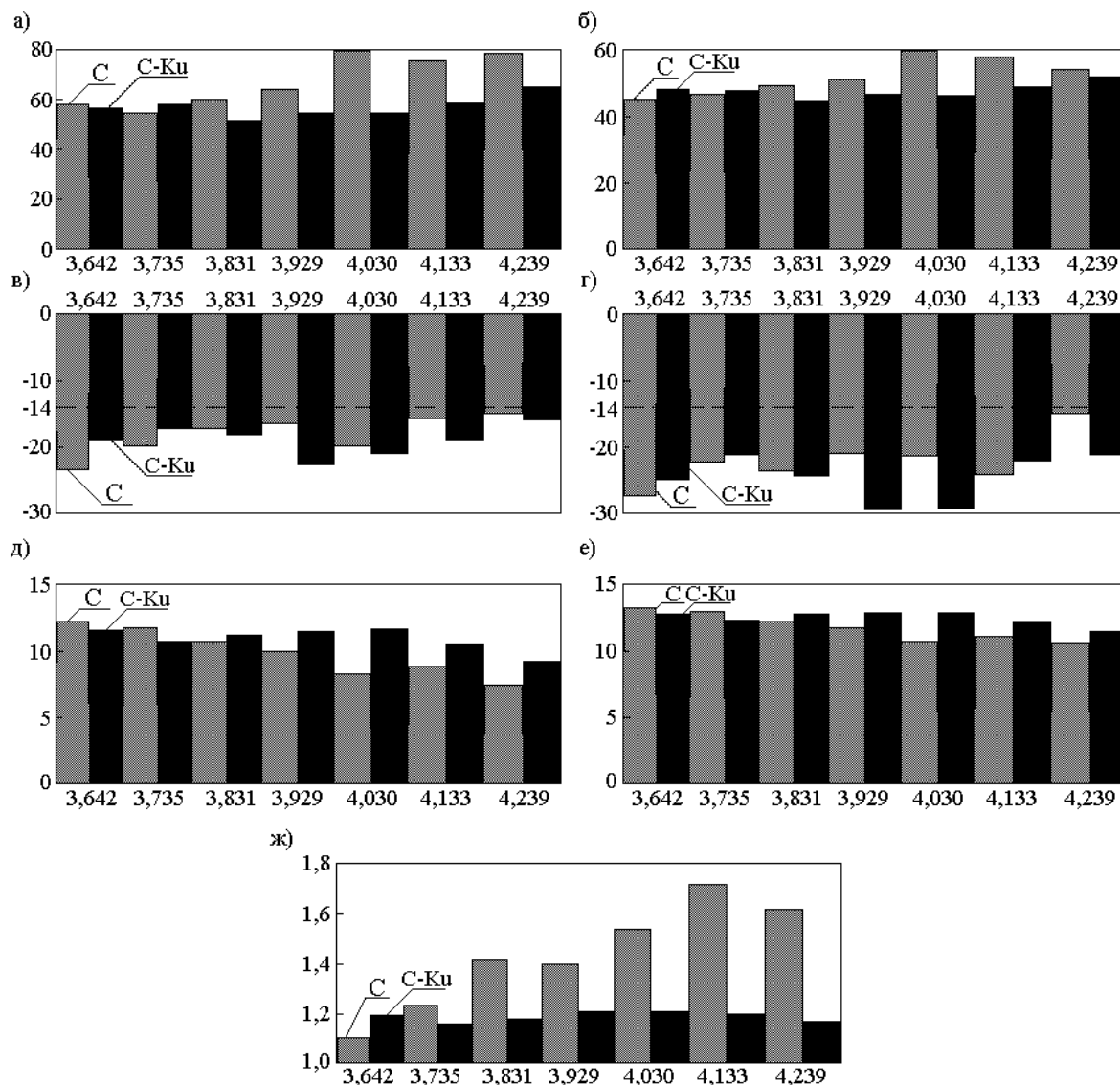


Рис. 4. Зависимости основных параметров ЛПА С (серые столбики) и С-Ку (черные столбики) диапазонов от частоты: (а) ширина ДН, (в) относительный УБЛ, (д) КУ для E-плоскости; (б) ширина ДН, (г) относительный УБЛ, (е) КУ для E-плоскости; (ж) КСВН

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием на выполнение НИОКР «Разработка электродинамических моделей облучателей больших зеркальных антенн в составе системы ГМССБ для исследования качества решения задач спутниковой радиосвязи и радионавигации», приказ № 69 от 04.03.2019 г., п.п. 1.19.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. SATBEAMS // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://www.satbeams.com/satellites> (дата обращения 05.09.2020)
2. Айзенберг Г. З., Ямпольский В. Г., Терешин О. Н. Антенны УКВ. ч.1. М.: Связь, 1977. 384 с.
3. Комплексные решения в области поставок электронных компонентов, электротехнического и щитового оборудования. ОЭС спецпоставка // Рупорные антенны. Режим доступа URL: <https://oessp.ru/catalog/vch-i-svch/antenny/rupornye-antenny/filter/clear/apply/> (дата обращения 26.04.2021)
4. RONDE&SCHWARZ measurement antennas HL50s7 // Электрон. дан. Режим доступа URL: <https://www.rohde-schwarz.ru/hl50s7> (дата обращения 05.09.2020)
5. Микрополосковая логопериодическая антенна: пат. RU 2571607 С1, МПК H01Q 10/11 (2006.01) / Е. В. Волхонская, Е. В. Коротей, Д. В. Кужекин. – № 2014129990/08; заявл. 21.07.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. №35, Приоритет 21.07.2014
6. Волхонская Е.В., Коротей Е.В., Власова К.В. Модельные исследования направленных свойств однозеркальной антенны с двухдиапазонным логопериодическим облучателем в среде MathCAD // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические науки. Вып. № 4. – Калининград: БФУ им. И. Канта, 2020 – С. 88–95.
7. Модельные исследования направленных свойств двухдиапазонных логопериодических облучателей больших зеркальных антенн в среде MATHCAD / Е.В. Волхонская, Е.В. Коротей, К.В. Власова // VIII Международный Балтийского морской форум. VIII Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии». Секция «Прикладная радиофизика, радиотехника и информационная безопасность» [Электронный ресурс]: сборник докладов. Т. 2. Калининград: Изд-во БГАРФ, 2020. С. 289-294.
8. Коротей Е.В., Волхонская Е.В. Математическое моделирование микрополоскового облучателя зеркальной антенны спутниковой системы связи ИНМАРСАТ-С // Морские интеллектуальные технологии. Труды V Международного Балтийского морского форума. Вып. 3 (37) – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – Т. 1. – С. 149 – 153.
9. Оптимизация геометрических параметров логопериодической антенны микрополоскового исполнения для С и Ku диапазонов: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015619811 Российская Федерация / Е.В. Коротей, Е.В. Волхонская, Д.В. Кужекин. - № 2015615296; заявл. 15.09.15; опубл. 20.10.15
10. Анализ направленных свойств и электрических параметров логопериодической вибраторной антенны: свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2015619459 Российская Федерация / Е.В. Коротей, Е.В. Волхонская, Д.В. Кужекин. - № 2015615388; заявл. 04.09.15; опубл. 20.10.15

ESTIMATION OF THE OPERATING FREQUENCY RANGE WIDTH INFLUENCE ON THE DIRECTIONAL PROPERTIES OF A LOG-PERIODIC IRRADIATOR

¹Volkhonskaya Elena Vyacheslavovna, Grand PhD in Engineering sciences,
the associate professor, the professor of department of ship radio engineering systems

²Korotey Evgeniy Vladimirovich, the associate professor of department
of ship radio engineering systems

³Vlasova Kseniya Valerievna, PhD in Physico-mathematical sciences,
the associate professor of department of ship radio engineering systems

¹ Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹volkhonskaya_e@mail.ru; ²eugeny_korotey@mail.ru;
³p_ksenia@mail.ru

The results of a comparative analysis of the electrical parameters and radiation characteristics of log-periodic irradicators operating in the C and C-Ku bands are presents in this paper. It is shown that the expansion of the operating frequency range not only does not lead to a deterioration of the main characteristics, but also stabilizes them: the spread in the values of the radiation pattern width decreases on average by 6.7%, the relative level of the side lobes - by 5.9%, the gain - by 9.1%, the standing wave ratio in the supply feeder - by 19.5%.

УДК 004.056.5:378.3

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФРЕЙМОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

¹Воробейкина Ирина Владимировна, ст. преподаватель, кафедра информационной безопасности

²Подтопельный Владислав Владимирович, ст. преподаватель, кафедра информационной безопасности

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ», Калининград, Россия, e-mail: ¹vorobeykina59@mail.ru; ²ionpvv@mail.ru

Рассматриваются особенности использования экспертных методов анализа данных аудита сетевой инфраструктуры предприятия с учетом технологических различий уровней АСУТП. Рассматриваются особенности формирования фреймов, описываются особенности их внутренней структуры. Изучается специфика применения фреймовых моделей для решения задач аудита, приводятся особенности формирования базы правил сопряжения сегментов фреймов с учетом требований задач аудита. Приводятся основные этапы формирования моделей анализа и описываются способы формирования данных моделей.

Современный аудит информационной безопасности осложнен тем, что в современной инфраструктуре предприятия присутствуют как внутренние корпоративные ресурсы, используемые для обеспечения производственных и иных процессов внутри организации, так и внешние ресурсы, которые, в свою очередь, могут находиться под косвенным управлением IT-отдела компании. Такие ресурсы могут быть представлены как услуга (облачные вычисления, системы облачного хранилища данных), либо они могут находиться в непосредственном использовании. В данном случае речь идёт об удалённых рабочих местах, которые поддерживают связь с корпоративной информационной средой напрямую или, непосредственно, через внешние, общедоступные сервисы, находящиеся вне контекста доменной политики безопасности организации.

Это означает, что не все автоматизированные рабочие места (АРМ) находятся в демилитаризированной зоне сети (ДМЗ). Подобные удаленные АРМ могут быть подключены к ресурсам корпоративной сети различными способами: сервисами VPN, защищенным трафиком по SHTTP, простым соединением HTTP, службами «тонкого» клиента. Соответственно и политики безопасности, применяемые при обеспечении защиты трафика среды функционирования информационных систем, будут отличаться в зависимости от того, какой вид соединения используется и какова мера доступности, подконтрольности рабочих сред и ресурсов пользователей. Таким образом, следует определить особенности реализации технического аудита безопасности современных корпоративных систем с учетом рассмотрения в ее составе удаленных АРМ.

Трудности подобного аудита вызваны тем, что необходимо реализовать совмещение различных методик, применяемых для исследования инфраструктуры: они должны быть пригодны одновременно и для аудита удалённых рабочих станций, и для станций, подчинённых политике безопасности корпоративной информационной системы. При этом следует учитывать, что в каждом случае реализации

процедур аудита специалисты в области информационной безопасности сталкиваются с архитектурами АИС, которые имеют некоторые уникальные характеристики, связанные с трансляцией данных, обеспечением взаимодействия удалённых и корпоративных сегментов. Для решения приведённых задач можно воспользоваться экспертными методами, которые бы позволили бы совместить множество различных операций и факторов с учётом их особенностей. Одной из пригодных экспертных методик является фреймовая моделирование. Структура фрейма позволяет не только последовательно описать процедуры аудита, но и определить особенности изменяемости исследуемых объектов и операций над ними. Это позволяет приспособить фрейм аудита к уникальным характеристикам проблемной области (технологиям и архитектурным особенностям построения АИС).

Общая архитектура фрейма процедур аудита включает следующие общие компоненты:

- границы полностью контролируемых зон (МДЗ);
- границы частично контролируемых зон (зоны удалённых автоматизированных рабочих мест);
- параметр контролируемости удалённых АРМ (при этом требуется учитывать уровень доступности ресурсов и сервисов);
- правила для определения задач аудита на каждом этапе с учетом степени подконтрольности АРМ;
- правила выбора методики проведения пассивного и активного технического аудита.

Для уточнения построения дерева связей сегментов внутри фрейма требуется ввести классификацию сегментов и их составляющих. Предварительно нужно отметить, что сегменты могут быть либо равны по параметру важности, либо наследовать признаки родительских сегментов. Соответственно, первоначально требуется вести классы равных и последовательно связанных сегментов, тем самым, например, позволяя описать уникальность связей удалённых рабочих станций и корпоративных систем, с которыми они связаны. Таким образом формируются связи внутренних сегментов, а также определяются уровни сегментной обобщенности (формируется иерархия сегментов фрейма).

Так же необходимо распределить элементы сегментов-фреймов (системные компоненты и актуальные протокольные среды) по следующим вложенным частям:

- сегмент КИС (корпоративная информационная система);
- удалённый сегмент (удалённый АРМ) с учетом использования в инфраструктуре защищенного трафика типа VPN;
- удалённый сегмент (удалённый АРМ) без использования в инфраструктуре защищенного трафика (по сервисам HTTP, HTTPS, VNC и др.).

Таким образом, первое затруднение, с которым сталкивается аудитор на предприятии при работе с распределенной КИС, - это создание модели технического аудита (с учетом связей элементов сегментов), которая должна учитывать при реализации процедур инвентаризации объектов и поиске уязвимостей все технологические особенности подсистем: наличие или отсутствие доменного контроля, тип и версии операционных систем, наличие сторонней (домашней) инфраструктуры, к которой подключен удалённый АРМ, наличие стороннего трафика, наличие посторонних и промежуточных узлов. Для того, чтобы разработать модель технического аудита, требуется предварительно создать формальные описания объектов разных частей КИС, и затем отдельно определить процессы аудита для каждого сегмента инфраструктуры предприятия [3]. Фактически формируются две общие модели технического аудита (при описании, в том числе, актуальных угроз). Корневая архитектура обобщенного уровня, относящаяся к инструментальному анализу, в структуре фрейма сегмента будет включать два элемента (в соответствии с моделями аудитом):

1. Фрейм-сегмент модели анализа, предполагающего прямой доступ к компонентам КИС в границах локальной инфраструктуры предприятия (стандартная модель);
2. Фрейм-сегмент модели анализа с частями, которые содержат идентификаторы и характеристики АРМ, вынесенные за границы контролируемой зоны КИС.

Аудит часто предполагает исследование удалённых сетевых узлов без локального доступа. Сегмент-фрейм модели будет включать в свой состав стандартную последовательность операций при техническом аудите и некоторое количество дополнительных уникальных последовательностей изучения проблемной области: их содержание определяется правилами, зависящими от условий функционирования технических платформ, удалённых автоматизированных рабочих мест и телекоммуникационных систем, к которым они подключены. Учитывая уровневый характер формирования архитектуры фреймов, рассматриваемые сегмент-фрейм будет включать также правила применения операций аудита.

Они представлены в формальном описании в виде условных операций, определяющих тип исследования. Рассматриваются следующие типы исследования:

- исследование с использованием инструментов контроля и сбора данных в инфраструктуре защищенного трафика;

- исследование без использования инструментов контроля и сбора данных в инфраструктуре защищенного трафика.

Общие элементы, иерархически предшествующие уникальным операциям во фрейме, будут представлены в виде этапов следующих процедур аудита:

- заочное, то есть по полученным от организации сведениям о программной и технологической базе;

- очное, при котором обследование всех сегментов будет ограничено технологической базой сегмента.

Заочный аудит, полностью применим как к компонентам КИС, так и к удаленной АРМ, но достоверность сведений по аудиту удаленных узлов ниже результатов очного обследования КИС.

При углублении уровня декомпозиции фрейма, требуется учитывать особенности подключения к удаленному АРМ, поскольку доступ и трансляция может осуществляться через промежуточные узлы, ретрансляторы. Таким образом, инфраструктура доступа к ресурсам удаленного автоматизированного рабочего места усложняет организацию фрейма: она предполагает включение во фрейм (на уровнях описания модели технического аудита удаленного АРМ) массива компонентов, обладающих кардинально различающимися характеристиками. Таким образом, в зависимости от специфики доступа формируется уникальный вид общего фрейма, а также правила, которые определяют эксплуатацию сегментов фрейма (однократно или циклически), описывают их подключения, могут описывать динамику изменения системы подключения в процессе обследования, что будет также отражено в общем виде фреймовой модели, разрабатываемой для аудита.

С другой стороны, при рассмотрении сегментов фреймов требуется определять достоверность их содержания, если данные, вносимые в сегмент, предоставляются неквалифицированным пользователем. Необходимо разграничить сведения, однозначно интерпретируемые при сборе данных о состоянии безопасности удаленной АРМ, и те сведения, интерпретация которых затруднена в силу недостоверности данных об инфраструктуре или о настройках компонентов информационной системы, настройках технической платформы. Кроме того, сведения могут быть изменены в период эксплуатации информационной системы, либо на нее могут повлиять сторонние факторы. Таким образом, во фрейме возникают правила, связанные с распределением вероятностей, которые указывают на достоверность предоставленных данных (формально параметр представлен как коэффициент достоверности). Таким образом, на основе указанных особенностей формируются классы сегментов-фреймов: статические и динамическими.

При дальнейшей детализации аспектов аудита можно углубиться в технологии проведения самих процедур исследования (на нижние уровни высокой степени технической детализации), определяя актуальные объекты и правила их анализа. К примеру, сетевая разведка является одним из способов как проведение процедур аудита, так и нападения. В целом, она позволяет выявить меру доступности сетевых интерфейсов, удаленных автоматизированных рабочих мест. Злоумышленник может воспользоваться различными способами скрытого наблюдения и исследования удаленных сетевых интерфейсов. Существует следующие разновидности скрытого сканирования сетевых интерфейсов: FIN-сканирование, Null-сканирование, сканирование типа Xmas tree, ACK-сканирование. Также можно выделить следующие нестандартные комбинации флагов, которые могут сигнализировать о совершении сетевой разведки на целевую систему: RST+FIN, PSH, FIN+ACK, SYN+ACK, SYN+FIN+RST+PSH, SYN+RST, SYN+FIN, SYN+FIN+PSH, SYN+FIN+URG+PSH, SYN+FIN+RST. Приведенные комбинации используются при построении правил фреймов, процедур обнаружения сетевых угроз.

Осуществлять переходы между фреймовыми элементами можно, используя правила, основанные на логических операциях, а именно при помощи конъюнкции (\wedge) и дизъюнкции (\vee). К примеру, правило, в котором сравниваются значения количества подозрительных пакетов каждого типа имеет следующий вид: IF количество пакетов больше 100 \wedge количество пакетов меньше 1000 THEN Переменная сравнения = 100 IF количество пакетов больше 1000 \wedge количество пакетов меньше 10000 THEN Переменная сравнения = 1000 IF количество пакетов больше 10000 \wedge количество пакетов меньше 100000 THEN Переменная сравнения = 10000.

В результате работы правила можно получить маркер фрейма (переменную), который будет показывать, являются ли подозрительные пакеты ошибкой или частью сканирования.

Ещё одной частью нижнего уровня фрейма в области операций аудита является определение последовательности применения инструментов аудита с учетом детализации предыдущих уровней сегмент-фреймов. Последовательность применения подобных инструментов требуется описывать правилами также с использованием условных операторов, операций конъюнкции и дизъюнкции. Правило, описывающее последовательность применения механизмов сбора данных, будет включать следующее:

1. Сетевые сканеры (nmap, nc);
2. Системы определения маршрутов доступа, инфраструктурных особенностей доступа (nmap, IVRE);
3. Системы определения уровня защищенности (тестирующие программы SSS, Nessus, nmap (в режиме --scan (vulscan)));
4. Системы определения сервисов сетевого доступа для подключения к службам КИС.

Осуществлять переходы между сегментами фреймов требуется при помощи правил, также основанных на логических операциях. Переходы с учетом иерархического распределения осуществляются в зависимости от характеристик сегментов фреймов. Примеры характеристик указаны в Таблице 1.

Таблица 1

Характеристики фреймов

№	Содержание сегмента	Общие КИС	Удаленные АРМ	
			в КИС	Вне КИС
1	Технологические связи между инфраструктурными компонентами (поток данных, их направление, передача файлов)	дочерние, динамические	дочерние, статич.	дочерние, динамические
2	Актуальные программно-аппаратные платформы, аппаратное обеспечение	статич.	статич.	статич.
3	Тип ОС, версия ОС (patch, service pack)	корневые статич.	корневые статич.	корневые статич.
4	Системные задачи, ассоциированные с сервисами серверов	дочерние, статич.	корневые статич.	дочерние, статич.
5	Актуальные сетевые протоколы, сервисы, карта сети;	дочерние статич.	дочерние статич.	дочерние динамические
6	Топология сети, локализация компонентов сети, наличие на них критичной информации;	корневые, статич.	корневые, статич.	дочерняя, статич.
7	Эксплуатация средств защиты информации	корневые статич.	корневые статич.	корневые статич.
8	Перечень прикладного ПО, ассоциированного с серверами и клиентскими рабочими местами	дочерние, динамические	дочерние, динамические	дочерние, динамические
9	Системы мониторинга безопасности;	дочерние, динамические	дочерние, статич.	дочерние, динамические
10	Криптографические средства	дочерние, статич	дочерние, статич	дочерние, статич

Таким образом, аудит современной сетевой инфраструктуры с использованием экспертных методов на основе фреймов предполагает применение двух групп фреймов (в соответствии с двумя общими моделями). Используется фреймы модели аудита, которые включают маркеры непосредственного доступа к компонентам КИС в границах локальной инфраструктуры, и фреймы модели аудита КИС с сегментами, включающими удаленные АРМ. Фреймы модели технического аудита должны отражать ту специфику удаленной сети вне ДМЗ, к которой подключён АРМ. Также, в соответствии с типом исследования сетевой инфраструктуры выделяются два набора фреймов:

- фреймы модели аудита в инфраструктуре защищенного трафика;
- фреймы модели аудита вне инфраструктуры защищенного трафика.

Конфигурация фреймов, предполагает включение в их состав двух наборов динамических правил в соответствии с тем, что существует два основных этапа аудита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1.Аверичников В. И., Рытов М. Ю., Кувылкин А. В., Рудановский М. В. Аудит информационной безопасности органов исполнительной власти: учебное пособие. – М.: Флинта, 2011. – 100 с.

2.Аверченков В.И., Рытов М.Ю., Гайнулин Т.Р. Оптимизация выбора состава средств инженерно-технической защиты информации на основе модели Клементса-Хоффмана//Вестник Брянского государственного технического университета. – Брянск, 2008. - № 1(17)

3.Аверченков, В.И. Аудит информационной безопасности: учеб. пособие для вузов / В.И. Аверченков. – 2-е изд., стер. – Брянск: БГТУ, 2010.–268 с.

4.Астахов А. Введение в аудит информационной безопасности [Доклад] // GlobalTrust Solutions [Электронный ресурс]. 2018. – URL: <http://globaltrust.ru> (дата обращения: 29.01.2018).

5.Большев А., Чербов Г., Черкасова С. Компоненты ДТМ: тайные ключи к королевству АСУ ТП// Исследовательский центр DigitalSecurity, 2014 – 36 с.

6.Горбачев И.Е., Глухов А.П. Моделирование процессов нарушения информационной безопасности критической инфраструктуры// Труды СПИИРАН. – Москва, 2015. – Вып. 1(38). – С. 112 – 135.

7.Котенко И. В. Многоагентные технологии анализа уязвимостей и обнаружения вторжений в компьютерных сетях // Новости искусственного интеллекта. – Москва, 2004. – № 1. – С. 56–72.

8.Макаренко С. И. Аудит информационной безопасности: основные этапы, концептуальные основы, классификация мероприятий // Системы управления, связи и безопасности, 2018, №1.

FEATURES OF USING FRAMES FOR SOLVING THE PROBLEMS OF AUDITING INFORMATION SECURITY OF AUTOMATED SYSTEMS

¹Vorobeikina Irina Vladimirovna, Art. Lecturer, Department of Information Security.

²Vladislav Vladimirovich Podtopelny, art. lecturer, information security department

¹ Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU», Kaliningrad, Russia,
e-mail: ¹vorobeykina59@mail.ru; ²ionpvv@mail.ru

The features of the use of expert methods for analyzing audit data of the network infrastructure of an enterprise are considered, taking into account the technological differences in the levels of the process control system. The features of the formation of frames are considered, the features of their internal structure are described. The specificity of the use of frame models for solving audit problems is studied, the features of the formation of the base of rules for conjugating frame segments are given, taking into account the requirements of audit tasks. The main stages of the formation of analysis models are given and the methods of formation of these models are described.

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРИЕМНИК ДЛЯ РАЗДЕЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ

¹Коротей Евгений Владимирович, доцент кафедры судовых радиотехнических систем

²Пахотин Валерий Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, профессор,
профессор ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

³Симонов Роман Валерьевич, аспирант ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

⁴Молостова Светлана Валерьевна, канд. физ.-мат. наук, доцент
ИФМН и ИТ БФУ им. И. Канта

¹Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ¹eugeny_korotey@mail.ru

²Институт физико-математических наук и информационных технологий
БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия, e-mail: ^{2,3,4}VPakhotin @kantiana.ru

Рассмотрена проблема обнаружения совокупности сигналов с неизвестными параметрами. Предложена новая структура оптимального приемника, основой которого является преобразованный функционал отношения правдоподобия. Совместно с уравнениями правдоподобия он позволяет проводить минимизацию функции потерь, как в области ортогональности, так и в области неортогональности пар сигналов, содержащихся в принятой реализации. В отличие от известного, рассматриваемый оптимальный приемник определяет вероятность обнаружения каждого из сигналов по отдельности, содержащихся в принятой реализации.

Введение

Решение задачи обнаружения сигнала хорошо известно [1÷4]. Она решается, как правило, на основе двух альтернативных гипотез: в принятой реализации сигнал присутствует, в принятой реализации сигнала нет [1,2,4]. Записывая отношение функций правдоподобия и, преобразовывая его, можно получить выражение, определяющее оптимальный приемник - обнаружитель сигнала. Он по существу является корреляционным приемником [1]. При известных параметрах сигнала (неизвестен лишь факт нахождения сигнала в принятой реализации) нет необходимости в процедуре минимизации функции потерь (функции риска). В этом случае оптимальный приемник позволяет решить задачу обнаружения, как одного, так и совокупности сигналов. На практике параметры сигналов, как правило, неизвестны. Неизвестно и значение дисперсии шума в принятой реализации. В этих условиях выход оптимального приемника будет зависеть от неизвестных параметров сигналов и, для получения решения задачи, требуется процедура минимизации функции потерь.

В настоящей работе предлагается оптимальный приемник с измененной структурой. Он может использоваться при решении задачи обнаружения совокупности неортогональных сигналов. Пороговый уровень определяется по дисперсии шума в принятой реализации, которая оценивается по значению минимума функционала правдоподобия. Основной целью настоящей работы является представление возможностей предлагаемого оптимального приемника.

1.1. Основы теории

Запишем функционал отношения функций правдоподобия в следующем виде.

$$\Delta(\bar{\lambda}, \hat{U}_1, \dots, \hat{U}_N, \tau) = \int_{\tau}^{T+\tau} |\hat{y}(t)|^2 dt - \int_{\tau}^{T+\tau} \left| \hat{y}(t) - \sum_1^N \hat{U}_n \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) \right|^2 dt \quad (1)$$

$\bar{\lambda}$ – вектор незнергетических неизвестных параметров N – сигналов.

$\hat{U}_1, \dots, \hat{U}_N$ – комплексные неизвестные амплитуды N – сигналов.

$\hat{y}(t)$ – принятая реализация, содержащая N сигналов и аддитивный нормальный шум со средним нулевым значением, дисперсией σ^2 и интервалом корреляции τ_k .

$\hat{f}_n(\bar{\lambda}, t)$ – функция, определяющая форму n – сигнала.

τ – текущее время при скользящем методе обработки на интервале длительности сигнала T .

Первое слагаемое функционала (1) определяет аргумент функции правдоподобия, когда предполагается, что сигналов в реализации нет. Второе слагаемое функционала (1) определяет аргумент функции правдоподобия, когда предполагается, что сигналы присутствуют в принятой реализации с амплитудами \hat{U}_n .

Преобразуем выражения (1). Исключим в этом выражении зависимость от комплексных амплитуд сигналов. Для этого дифференцируя (1) по комплексным амплитудам и, приравнявая дифференциалы нулю, получим векторное уравнение правдоподобия [2].

$$\bar{\beta} = \hat{R}\hat{U} \quad (2)$$

$\bar{\beta}$ – вектор столбец, содержащий элементы $\beta_n(\bar{\lambda}, \tau) = \int_{\tau}^{\tau+T} \hat{y}(t) \hat{f}_n^*(\bar{\lambda}, t) dt$.

\hat{U} – вектор столбец амплитуд, содержащий элементы \hat{U}_n .

\hat{R} – корреляционная функция, элементы которой определены выражением

$$\hat{R}_{n,m}(\bar{\lambda}, \tau) = \int_{\tau}^{\tau+T} \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) \hat{f}_m^*(\bar{\lambda}, t) dt$$

Решая векторное уравнение, получим вектор оценок амплитуд, зависящий от вектора неэнергетических параметров сигналов $\bar{\lambda}$ и времени τ .

$$\hat{U}(\bar{\lambda}, \tau) = \hat{R}^{-1}\bar{\beta} \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1) получим функционал отношения функций правдоподобия, зависящий лишь от вектора неэнергетических параметров сигналов.

$$\Delta(\bar{\lambda}, \tau) = \int_{\tau}^{\tau+T} |\hat{y}(t)|^2 dt - \int_{\tau}^{\tau+T} \left| \hat{y}(t) - \sum_1^N \hat{U}_n(\bar{\lambda}, \tau) \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) \right|^2 dt \quad (4)$$

Полученное выражение позволяет, например методом перебора неэнергетических параметров $\bar{\lambda}$, минимизировать функцию потерь на текущем интервале $\tau \div \tau + T$.

Это выражение можно упростить, исключив интеграл от квадрата принятой реализации $\hat{y}(t)$,

$$\Delta(\bar{\lambda}, \tau) = \int_{\tau}^{\tau+T} \hat{y}(t) \left(\sum_1^N \hat{U}_n(\bar{\lambda}, \tau) \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) \right)^* dt + \int_{\tau}^{\tau+T} \hat{y}^*(t) \sum_1^N \hat{U}_n(\bar{\lambda}, \tau) \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) dt - \int_{\tau}^{\tau+T} \left| \sum_1^N \hat{U}_n(\bar{\lambda}, \tau) \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) \right|^2 dt \quad (5)$$

Полученное выражение (4) (а также (5)) показывает, что процесс минимизации функции потерь необходимо проводить одновременно в двух выражениях (4) и (3) (или (5) и (3)) за счет перебора значений вектора параметров $\bar{\lambda}$. Математическое ожидание от (4) в случае отсутствия сигналов в принятой реализации равно нулю. Математическое ожидание от $\bar{\beta}$ (выражение (3)) равно нулю, следовательно и амплитуды сигналов во втором слагаемом стремятся к нулю. Математическое ожидание от (4) в случае наличия N сигналов в принятой реализации и выполнении условия $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}$ (условие экстремума) равно энергии совокупности N сигналов $E_{сов}$.

$$M(\Delta(\bar{\lambda}, \tau)) = \int_{\tau}^{\tau+T} \left| \sum_1^N \hat{U}_n(\bar{\lambda}, \tau) \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) \right|^2 dt = E_{сов} \quad (6)$$

В этом случае математическое ожидание от (3) определяет вектор истинных (не штрихованных) комплексных амплитуд, содержащихся в принятой реализации. Это означает несмещенность решения. Это означает решение задачи разрешения совокупности сигналов. Определим выражение (4) (эквивалент (5)) в качестве выходной функции оптимального приемника – обнаружителя сигналов $q(\bar{\lambda}, \tau) = \Delta(\bar{\lambda}, \tau)$. Структура приемника определяется выражениями (4) и (3) или (5) и (3).

Согласно выражениям (4) и (3) при проведении процедуры минимизации функции потерь, автоматически определяются амплитуды сигналов. Часть значений амплитуд может быть на уровне шумовых максимумов. Они не превышают пороговый уровень и исключаются из рассмотрения. Математическое ожидание от выходной функции (4) на интервале, где нет сигналов равно нулю. Математическое ожидание от выходной функции на интервале, где сигналы присутствуют, равно энергии этого сигнала, а при наличии совокупности неортогональных сигналов, равно совокупной

энергии. Дисперсия шума в принятой реализации оценивается нормированным функционалом правдоподобия.

$$\Delta = \frac{1}{T} \int_{T-\tau}^{T+\tau} \left| \hat{y}(t) - \sum_{n=1}^N \hat{U}_n(\bar{\lambda}) \hat{f}_n(\bar{\lambda}, t) \right|^2 dt \quad (7)$$

Математическое ожидание от (7) в точке $\bar{\lambda} = \bar{\lambda}$ определяет дисперсию шума на входе оптимального приемника $M(\Delta) = \sigma^2$. Оценка дисперсии шума в принятой реализации по выражению (7) и оценка совокупной энергии позволяют определить пороговый уровень и решить задачу обнаружения совокупности сигналов. Однако это решение будет иметь интерференционный характер. При взаимном усилении сигналов вероятность обнаружения может быть высокой. Однако при взаимном подавлении сигналов вероятность обнаружения будет низкой. Покажем, что на основании выражения (3) можно получить более устойчивое решение. В точке максимума функционала (4) выражение (3) определяет оценки амплитуд совокупности сигналов, содержащихся в принятой реализации. Дисперсия амплитуд сигналов находится на уровне дисперсии Рао-Крамера $D_{U_n} = \sigma^2/N_1$ (N_1 – количество некоррелированных отсчетов на интервале обработки). Это позволяет решить задачу обнаружения для каждого сигнала по отдельности.

1.2. Результаты модельных расчетов

Приведем результаты модельных расчетов. На рис.1 представлена статистика оценок амплитуды и времени приема сигнала, полученная на основе оптимального приемника (4). Отмечен пороговый уровень (пунктир) и, большой точкой, модельное значение амплитуды и времени приема сигнала. Точность оценок времени приема составляет ± 150 мкс, точность оценок амплитуд составляет $\pm 20\%$. Вероятность обнаружения по 30 независимым реализациям равна 100%. На рис. 2. показана подобная статистика при уменьшении амплитуды сигнала в 2 раза. Вероятность обнаружения равна $\approx 87\%$. Четыре точки, амплитуды которых меньше порогового уровня (пунктир), определяются шумовыми максимумами. Они исключаются пороговым уровнем из дальнейшего рассмотрения.

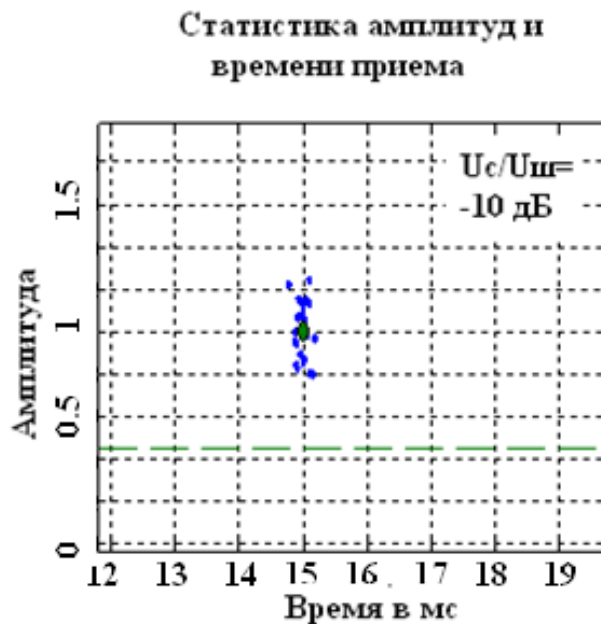


Рис.1. Статистика оценок амплитуд и времени приема сигнала, полученная с помощью оптимального приемника (4) при модельном значении амплитуды 1

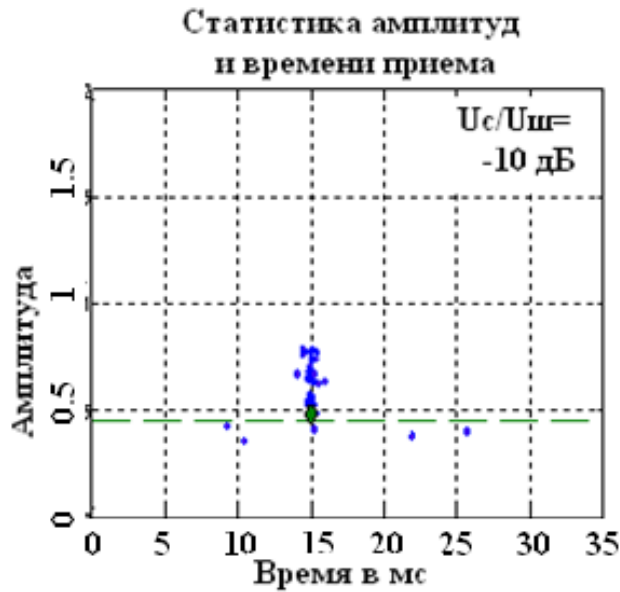


Рис.2. Статистика времени приема и амплитуды сигнала, полученная с помощью оптимального приемника (4) при модельном значении амплитуды 0.5

На рис. 3 показан случай взаимного подавления сигналов в принятой реализации (верхняя реализация). Отмечается лишь наличие в реализации части первого и части второго сигнала. Совместная часть двух сигналов исчезает. В этом случае, оценивая амплитуды сигналов и времена их приема в точке минимума функционала правдоподобия, можно получить отдельные реализации $\hat{y}_1(t)$ (средняя реализация, рис.3) и $\hat{y}_2(t)$ (нижняя реализация, рис.3) и сравнить их.

$$\begin{aligned} \hat{y}_1(t) &= \hat{y}(t) - \hat{U}_2(\vec{\lambda}_1, \vec{\lambda}_2) \hat{S}(\vec{\lambda}_2, t) \\ \hat{y}_2(t) &= \hat{y}(t) - \hat{U}_1(\vec{\lambda}_1, \vec{\lambda}_2) \hat{S}(\vec{\lambda}_1, t) \end{aligned} \quad (8)$$

Рисунок 3 иллюстрирует преимущество предлагаемого метода обработки. В результате решения задачи оценки параметров двух неортогональных сигналов, энергия сигналов в реализациях $\hat{y}_1(t)$ и $\hat{y}_2(t)$ оказывается больше, чем энергия сигналов в реализации $\hat{y}(t)$.

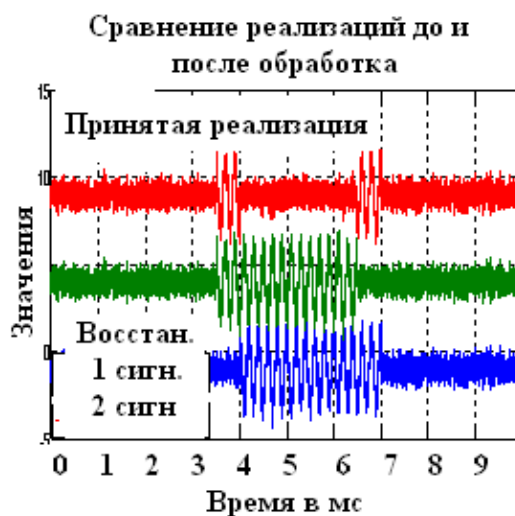


Рис.3. Сравнение принятой реализации, содержащей совокупность двух сигналов, и двух реализаций после обработки с подавлением одного из сигналов

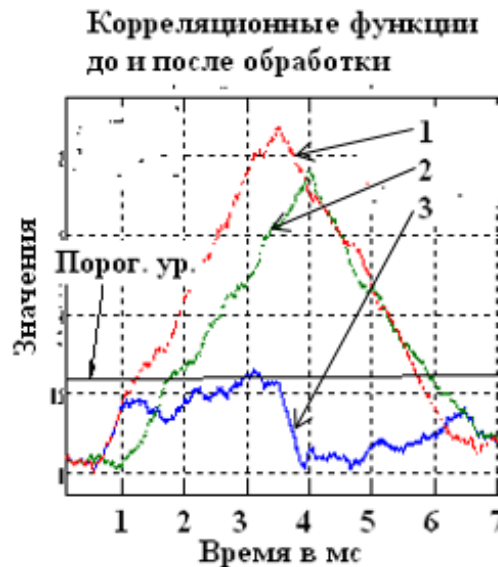


Рис.4. Корреляционные функции трех реализаций $\hat{y}(t)$ и $\hat{y}_1(t)$, $\hat{y}_2(t)$ при решении задачи обнаружения совокупности двух сигналов

При проведении корреляционной обработки трех реализаций $\hat{y}(t)$ и $\hat{y}_1(t)$, $\hat{y}_2(t)$ преимущество предлагаемого метода обработки становится очевидным (рис.4). Максимум корреляционной функции $\hat{y}(t)$, содержащей два неортогональных сигнала оказывается много ниже, чем максимумы корреляционных функций реализаций $\hat{y}_1(t)$ и $\hat{y}_2(t)$, содержащие эти сигналы по отдельности. На рис.4 корреляционные функции трех реализаций показаны при отношении сигнал/шум - 20 дБ. На этом же рисунке отмечен пороговый уровень $h = 3\sigma$, определенный по уровню шума (СКО шума σ). Максимум корреляционной функции принятой реализации $\hat{y}(t)$ практически не дает возможности обнаружить наличие сигналов. Максимумы корреляционных функций реализаций $\hat{y}_1(t)$ и $\hat{y}_2(t)$ существенно превышают пороговый уровень. Задача раздельного обнаружения первого и второго сигналов решается вполне успешно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. М.: Радиотехника, 2003. – 400 с.
2. Пахотин В. А., Власова К.В., Бессонов В.А., Строков В.И., Бабинович А.И., Шустов Э.И. Технология цифровой обработки простых и широкополосных сигналов на основе функционала правдоподобия. (Пленарное заседание) Доклады 18-й Международной конференции DSPA-2016, серия: Цифровая обработка сигналов и ее применение. Т.1, Москва, Россия, стр.13-25.
3. Хелстром К. Статистическая теория обнаружения сигналов. К.; Изд-во: М.: Иностранной литературы, 1963.
4. Ширман Я. Д. Разрешение и сжатие сигналов. М.: Сов. радио, 1974. –360 с.

OPTIMUM RECEIVER FOR SEPARATE SIGNAL DETECTION

¹Korotey Evgeniy Vladimirovich, Associate Professor, Department of Ship Radio Engineering Systems

²Pakhotin Valery Anatolievich, Doctor of Phys.-mat. Sci., Professor, Professor of the Institute of Physics and Mathematics and IT IKBFU I. Kant

³Simonov Roman Valerievich, Ph.D. IFMN and IT IKBFU I. Kant

⁴Molostova Svetlana Valerievna, Cand. Physics and Mathematics, Sciences, Associate Professor of the Institute of Physics and Mathematics and IT IKBFU Kant

¹Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ¹eugeny_korotey@mail.ru

²Institute of Physical and Mathematical Sciences and Information Technologies,
IKBFU, I. Kant, Kaliningrad, Russia, e-mail: ^{2,3,4}VPakhotin @kantiana.ru

The problem of detecting a set of signals with unknown parameters is considered. A new structure of the optimal receiver is proposed, the basis of which is the transformed functional of the likelihood ratio. Together with the likelihood equations, it allows minimizing the loss function, both in the region of orthogonality and in the region of non-orthogonality of signal pairs contained in the adopted implementation. In contrast to the known one, the considered optimal receiver determines the probability of detecting each of the signals separately contained in the adopted implementation.

УДК 004.056.5:378.3

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ИНСТРУМЕНТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АУДИТА ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ АСУТП

Подтопельный Владислав Владимирович, ст. преподаватель,
кафедра информационной безопасности

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: ionpvv@mail.ru

Рассматриваются особенности инструментального анализа данных аудита сетевой инфраструктуры предприятия с учетом технологических различий уровней АСУТП. Изучается специфика обучения и применения систем интеллектуального анализа данных для решения задач аудита, приводятся особенности формирования базы признаков событий безопасности с учетом требований задач аудита. Приводятся основные этапы формирования моделей анализа и описываются способы формирования данных моделей. Рассматриваются особенности формирования векторного пространства признаков, используемых в базах обучения.

Современный процесс аудита информационной безопасности сетевой инфраструктуры на производственных предприятиях предполагает сбор и анализ большого массива различных данных. Если учесть, что при проведении внутреннего аудита требуется периодическое повторение процедур сбора и анализа транслируемой и обрабатываемой информации, то следует особенно внимательно относиться к интеллектуальным методам и средствам оценки безопасности инфраструктур промышленных предприятий. Подобные средства позволяют автоматизировать процедуры контроля состояния защищенности информационных систем (ИС).

Для решения проблем внутреннего аудита часто внедряются системы типа SIEM (Security information and event management), позволяющие частично реализовать процессы аудита инфраструктуры (автоматизированный сбор и классификацию данных событий безопасности) в процессе эксплуатации АИС различных типов. В итоге, постоянно контролируется уровень защищенности информационных ресурсов корпоративной информационной системы (КИС), однако при этом глубокий анализ в автоматизированной форме не осуществляется. Таким образом, для достижения целей внешнего и внутреннего аудита (превентивного и детектирующего типа) информационной безопасности сетевой инфраструктуры АСУ предприятия (в том числе АСУТП) требуется подобрать методики сбора информации и инструментарий ее анализа, позволяющие производить макси-

мально масштабный и точный анализ данных состояния безопасности технологически различающихся активных систем. При этом следует учесть то, что характер данных в зависимости от контекста событий может меняться, а результат анализа носит всегда вероятностный характер. В процессе аудита и последующем анализе его результатов, следует учитывать влияние уже встроенных в инфраструктуру средств информационной безопасности АСУ. Таким образом, для проведения аудита необходимо использование новых инновационных технологий, которые имеют, в том числе, и возможности интеллектуального анализа разнотипных данных. Одной из подобных технологий является машинное обучение.

Современное машинное обучение на данном этапе развития информационного обеспечения используется для обнаружения вторжений или поиска каких-либо воздействий негативного характера на АС. Поэтому одним из важнейших направлений в области аудита является внедрение и «тонкое» (то есть учетом функциональных особенностей компонентов сети) применение IDS (систем обнаружения сетевых атак). Подобные средства защиты информации можно использовать как инструмент сбора данных для вычислительной модели, сравнительного анализа с возможностью оповещения об аномальном состоянии системы или о подозрительной сетевой активности. Такие системы, размещены на диспетчерском (среднем) уровне АСУТП, используются для защиты нижних уровней (уровень ПЛК). Для решения задач аудита информационной безопасности (ИБ) автоматизированных систем подобные (уже обученные, с уже готовой вычислительной моделью) системы пригодны частично, поскольку их параметризация предполагает обучение модели выявления вторжений на основе исходных данных сетевого трафика вредоносного типа, то есть на примере сетевых атак. При обучении моделей распознавания сетевых угроз используются специальные наборы параметров вредоносного воздействия (датасеты), такие как UNSW-NB15 (создан лабораторией киберугроз Австралийского центра кибербезопасности (Cyber Range Lab of the Australian Centre for Cyber Security)) [5]. Обученная вычислительная модель с довольно высокой точностью позволяет определить тип атаки (Таблица 1).

Таблица 1

Записи журнала событий с определенными вычислительной моделью атаками

№	Number	Attack category	Attack sub category	Number of events
1	77	DoS	TFTP	3
2	125	Exploits	Cisco IOS	579
3	72	DoS	Cisco Skinny	6
4	33	Shellcode	Decoders	102
5	191	Shellcode	FreeBSD	8

Для полномасштабного решения задач аудита при помощи вычислительной модели требуется параметризация событий, которые в той или иной степени связаны с логированием состояния систем (журналы безопасности), то есть предполагается частичная реализация функционала SIEM. Кроме того, маркирование событий должно первоначально позволить системе выявить характер события (опасное или не опасное), и лишь затем предложить более точную характеристику атакующего воздействия (тип воздействия и угрозы, система, узел и др.). Для уточнения на последнем этапе классификации можно использовать результаты систем для обнаружения сетевых атак. Очевидно, что данные основного и уточняющего этапа, необходимые для обучения модели, относятся к разным классам, различаются способами описания и интерпретации. Таким образом, важными задачами являются:

- определение способа формирования датасета;
- определение параметров, требуемых при обучении модели выявления проблем информационной безопасности в системе;
- создание датасета, необходимого для машинного обучения.

В процессе определения параметров обучаемой модели требуется обратить внимание на некоторые особенности анализируемых систем. Во-первых, не все лог-файлы доступны при сборе данных из-за разграничения доступа, реализуемого через функционал операционной системы. Также могут применяться специальные средства для защиты операционной системы программного и про-

граммно-аппаратного типа, которые позволяют контролировать реализацию правил доступа на критически важных компонентах сети. При этом следует учитывать, что в процессе аудита цели злоумышленника не очевидны, и часто проявления маркерных событий в среде АИС могут не фиксироваться, поскольку они не затрагивают предполагаемые целевые объекты атаки. Во-вторых, требуется осуществлять контроль среды передачи данных на различных уровнях АСУТП. Сейчас Ethernet применяется как основная среда трансляции данных между АСУТП-сегментами, хотя на диспетчерском уровне могут передаваться данные подключенных ПЛК по протоколам Modbus/TCP, EtherNet/IP, PROFINet и др. Соответственно, требуется определить те методы и технологии, которые, учитывая специфичность сетевой инфраструктуры рассматриваемого уровня системы, могут использоваться для реализации полномасштабного аудита (без исключения сетевых пакетов промышленных протоколов). Необходимо понять, какие при аудите слабые и сильные стороны существуют у техник анализа данных с учетом технологических ограничений. В-третьих, функционирование систем сбора данных и аудита в режиме SIEM предполагает централизованный контроль (системные журналы и журналы аудита безопасности). Системы контроля реализуют выявление критических событий («событий безопасности») с оповещением о них специалистов по информационной безопасности. При этом следует учитывать возможную несовместимость технологий обработки данных и способов их трансляции со средствами сбора и контроля данных. Технологическая несовместимость может проявляться при эксплуатации ОРС-серверов, при обработке запросов и обеспечении доступа к контроллерам (проблемы несовместимости могут быть связаны с использованием протоколов, уникальных для технологической сборки уровня ПЛК). Кроме того, при сборе данных для обучения вычислительной модели могут возникнуть проблемы по следующим причинам:

- влияние средств сбора на поток данных, что ограничивает функционал SCADA (работающий в реальном режиме времени), с последующим вызовом коллизий;
- возможен эффект исчерпания ресурсов при активном аудите сервисов и/или сетевых служб SCADA.

Для подготовки средств интеллектуального анализа инструментарий аудита и контроля трафика следует интегрировать на административный и диспетчерский уровни, учитывая при этом их технологическую специфику, особенности среды передачи данных. При рассмотрении особенностей диспетчерского уровня АСУТП-системы, следует учесть разделение технологий передачи данных на два типа трафика (уровня стандартных протоколов, используемых в корпоративных информационных системах, и уровня технических протоколов типа CANopen, HART, Modbus). Это означает, что та часть датасета, которая относится к сбору параметризуемых для вычислительной модели данных на уровне событий безопасности технологических данных, в каждом случае будет уникальна также, как и уникальна будет технологическая среда отдельно сформированной инфраструктуры диспетчерского уровня АСУТП предприятия. Так же требуется соблюдать осторожность при перехвате данных для анализа в процессе аудита, поскольку это может вызвать критическую для системы нижнего уровня АСУТП задержку и, следовательно, приведет к внесению ошибочных данных в датасет.

Таким образом, перед обучением модели необходимо сформировать обучающую выборку. Ее можно получить, снимая данные в определенный период времени с подконтрольной сети после процедур инвентаризации инфраструктуры. Затем данные необходимо привести к тому виду, который требуется для обработки в модели. При этом аналитическая модель для данных аудита должна учитывать специфику входных данных, которая проявляется при осуществлении процедур сбора информации (несовместимость некоторых средств аудита и исследуемых систем, временное разделение получаемых для обучения модели данных, их недостаточность).

На основе собранных данных, формируются устойчивые шаблоны, которые используются для нахождения комбинации математических уравнений и позволяют предсказать результат изменения состояния системы. В отличие от целей моделей машинного обучения, созданных распознавания атаки, вычислительная модель, созданная для аудита, может не предполагать обязательные конкретизацию вида угрозы (тип атаки) – в данном случае важен факт найденной аномалии, которая показывает, что происходят неразрешенные изменения состояния системы или они предполагается, что они могут произойти.

В целом датасет формируется из параметризуемых данных, которые будут сигнализировать о присутствии опасности. Данные можно отнести к следующим угрозам информационной безопасности:

1. Угроза внедрения и запуска вредоносного кода или данных;
2. Угроза компрометации данных ЛВС;
3. Угроза подделки записей журнала регистрации событий;
4. Угроза удаленного запуска вредоносного кода в обход механизмов защиты. операционной системы;
5. Угроза воздействия НСД;
6. Угроза компрометации ключевых данных;
7. Угроза подбора пароля;
8. Угроза компрометации кода.

В разрабатываемом решении рассмотрен вариант обучения с учителем, поэтому данные, поступающие на вход модели, должны быть заранее помечены в соответствии с типом негативного воздействия (угрозы). Набор данных для обучения модели можно собрать самостоятельно, имитируя атаку и маркируя их признаки, либо воспользоваться готовыми наборами данных из открытых источников, но при этом не учитывается специфика сети.

Системы анализа данных аудита имеют следующую архитектуру:

- модуль захвата событий безопасности и данных сетевого трафика;
- генератор признаков потока для событий безопасности и данных сетевого трафика;
- модуль анализа:
- модуль подготовки данных;
- модуль обучения модели;

Существуют некоторые особенности комплектования и функционирования модулей. Поскольку предполагается собирать данные двух типов, процесс формирования шаблона для модели усложняется: требуется либо две версии каждого компонента модуля анализа, либо предусмотреть, чтобы каждый компонент мог работать с двумя видами данных. В модуле анализа содержатся следующие компоненты:

1. Модуль поддержки операций с многомерными массивами, обработки высокоуровневых математических функций [6].

2. Модуль для обработки и анализа данных (предоставляет специальные структуры данных и операции для манипулирования числовыми таблицами и временными рядами, используется для обработки и анализа данных).

3. Модуль для прогнозного анализа данных. Модуль позволяет работать в двух режимах с учителем (требуется размеченный датасет) и без учителя (требуется наличие известного целевого признака (его значение)). При работе без учителя не требуется разметки в датасете. Поскольку анализируемые и параметризуемые данные различны, то при решении задач аудита целесообразно использовать режим обучения без учителя, однако необходимо научить систему «извлекать полезную информацию из произвольных данных». Модуль должен содержать в своем составе библиотеки классификаторов, которые будут использоваться для анализа [7].

Для модуля захвата трафика требуется следующее:

–модуль API, обеспечивающий взаимодействие между сетевыми узлами или между процессами на одном компьютере, и, соответственно, доступ к интерфейсу BSD-сокета;

–модуль преобразования значений данных транслируемых языков (Python и др.) в среду структур компилируемых языков (C и др.);

–модуль форматирования для работы со строками [31].

При работе с модулем подготовки данных предполагается, что в качестве генератора признаков используется готовое программное решение (Argus и др.). Используя генератор признаков требуется преобразовать данные о событийных рядах для последующей обработки в вычислительной модели. Генератор позволит снизить размерность, в которой набор исходных переменных сокращается до более управляемых групп (признаков) для дальнейшей обработки. Это особенно необходимо при решении задач аудита, поскольку направления собираемой информации изобилуют разнотипными данными. Их требуется изменить для повышения точности алгоритма и произвести отбор не-

нужных признаков с помощью алгоритмов машинного обучения, которые позволяют оценить важность предиктора (используются различные алгоритмы: жадный алгоритм, логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг). При решении задач аудита сложность составляет разбиение групп по типам используемых алгоритмов отбора, поскольку сами данные чрезвычайно разнятся. Целесообразно выделить две основные группы: непосредственно сетевые данные и данные логов, содержащих различные параметризуемые маркеры событий безопасности.

При работе с сетевыми данными генератор признаков используется для порождения информации о событии при трансляции данных в сети: разбираются перехваченные сетевые пакеты и генерируются обобщенные (агрегированные) сборки данных сетевого трафика. Генератор, выступая в качестве аналитического модуля, может работать на отдельном граничном узле, фильтруя весь сетевой трафик. Кроме того, эта программа может работать как автономный модуль сбора и анализа сетевых пакетов. Используя включенные в свой состав алгоритмы, генератор находит признаки для формирования шаблона, применяемого в дальнейшем при отборе вероятностей.

Учитывая сложность процесса формирования шаблонов, каждый признак и используемые для обучения модели атрибуты, требуется анализировать, при необходимости избегая процедуры автоматизации, для того, чтобы найти ошибки в наборах признаков. Требуется исключить неактуальные признаки, произвести масштабирование числовых атрибутов и преобразование категориальных атрибутов. Для приведения всех данных к требуемому единому масштабу атрибутов используется два типа масштабирования: масштабирование по минимуму или нормализация (*min-max scaling / normalization*) и стандартизация (*standardization*). Таким образом, можно сформировать шаблоны отбора для конкретной сети диспетчерского уровня, который, очевидно, характеризуется большей технологической специфичностью и большим количеством ограничений, чем стандартная корпоративная сеть.

В собранном наборе обучения классификационной модели каждая строка представляет собой захваченный пакет или строку в лог-файле безопасности. Набор сетевого трафика может содержать до 45 атрибутов, сгенерированных программным модулем типа Argus. Приведение параметров данных к правильному масштабу выполняется различными способами. Один из них (примененный при решении задач аудита) предполагает следующее: значения смещаются и изменяются так, чтобы в итоге находиться в диапазоне от 0 до 1 (вычитается минимальное значение и производится деление на разность максимального и минимального значений, решение такой задачи в Scikit-Learn обеспечивает трансформатор *MinMaxScaler* или «normalize» в Pandas). Затем производится стандартизация: вычитается среднее значение и осуществляется деление на дисперсию, так что результирующее распределение имеет единичную дисперсию (реализует трансформатор *StandardScaler*).

Поскольку для рассмотрения проблем аудита используются данные и сетевого типа, и логируемого типа, то для формирования списка анализируемых событий можно использовать основанный на параметрах трафика перечень событий, созданный для обучения модели выявления сетевых атак (*LIST_EVENTS*). Он содержит 208 записей, со следующим видом атак: *normal*, *Fuzzers*, *Reconnaissance*, *Shellcode*, *Analysis*, *Backdoors*, *DoS*, *Exploits*, *Generic*, *Reconnaissance*, *Shellcode*, *Worm*. Список признаков сетевых маркеров опасности представлен 49 записями. При этом тестовый набор данных содержит лишь 45 признаков, 46-ой признак означает метку набора. Также, после применения обработки параметров набор данных логируемого типа имеет *n*-числовых признаков в зависимости от типа обработки: часть признаков были взяты непосредственно из исходных данных и часть признаков была создана, при кодировании категориальных атрибутов. Каждый захваченный сетевой пакет или каждую логируемую запись можно представить как точку в *n*-мерном векторном пространстве. Тогда целью классификации является разделение этого пространства на области легитимного и нелегитимного состояния исследуемого объекта, что пригодно для решения задач аудита (если не принимать во внимание разделение на классы атак и отслеживать только аномальные и неаномальные состояния).

Таким образом, модель, полученная как результат работы выбранного алгоритма машинного обучения, представляет собой описание разделения векторного пространства. При построении векторного пространства, основанного на сетевых данных, часть его, может отводиться для параметризации маркеров аудита. В противном случае создаются два векторного пространства: сетевое и пространство аудита. Пространство аудита основывается на записях советующие угрозам информационной безопасности. Далее, итоговый набор данных загружается в модуль распознавания аномалий

(anomaly_detection), целью которого является обучение модели и прогнозирование. Кроме того требуется провести определение зависимостей между признаками. Для этого требуется вычислить стандартный коэффициент корреляции (коэффициент корреляции Пирсона) [4].

Регулирование соотношения точности и полноты значений в векторном пространстве осуществляется с помощью устанавливаемого классификатором порогового значения: классификатор, вычисляет для каждого образца сумму полученных удачных вхождений, и при превышении порогового значения, образец отождествляется с положительным классом, в ином случае он будет отнесен к отрицательному классу. При повышении величин порогового значения снижается полнота определения, но увеличивает точность. При снижении точности определения принадлежности к классу увеличивается параметр полноты. Соответственно, для определения оптимального соотношения полноты и точности определения необходимо:

- вычислить сумму очков для каждого образца в наборе;
- вычислить точность и полноту для всех возможных порогов;
- построить график точности и полноты как функции значения порога.

Таким образом, рассмотренные интеллектуальные методы анализа данных аудита ограничены спецификой обучаемой модели и необходимостью приведения к требуемому виду данных для выборки обучения (данные должны быть одного порядка). При этом для вычислительной модели аудита, работающей на уровне сети диспетчерского уровня требуется создавать либо одну сложную модель (включающую использование полиформатного векторного пространства), либо две версии выборки и, соответственно, две модели обучения: модель, предназначенную для общих маркеров–угроз информационной безопасности, используемых в аудите, и модель, непосредственно описывающую состояние трафика диспетчерского уровня с учетом всех его особенностей. Применяемые в процедурах анализа подобные механизмы позволяют (посредством обучения и выработки приемлемой модели классификации) учесть динамику изменений сетевых угроз технологически отличающихся систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Andrew Hay, Daniel Cid OSSEC Host-Based Intrusion Detection Guide/ Hay A. URL: <http://index-of.co.uk/Hacking-Coleccion/OSSEC%20Host-Based%20Intrusion%20Detection%20Guide.pdf> (Дата обращения: 5.05.2020).
2. Scikit-learn: Библиотека машинного обучения для языка программирования Python [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html (дата обращения 17.05.2020).
3. 802.3.2-2019 - IEEE Standard for Ethernet - YANG Data Model Definitions. – URL: <http://www.ieee802.org/3/> (дата обращения 16.05.2020).
4. Т. Hastie; R. Tibshirani; J. Friedman. The Elements of Statistical Learning – Stanford: Springer, 2018. – 764 с.
5. The University of New South Wales Canberra: The UNSW-NB15 Dataset Description [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <https://www.unsw.adfa.edu.au/unsw-canberra-cyber/cybersecurity/ADFA-NB15-Datasets/> (дата обращения 15.05.2020.)
6. Numpy: Фундаментальный пакет для научных вычислений с Python [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: <https://numpy.org/doc/stable/> (дата обращения 17.05.2020).
7. Scikit-learn: Библиотека машинного обучения для языка программирования Python [Электронный ресурс]. – 2020. – URL: https://scikit-learn.org/stable/user_guide.html (дата обращения 17.05.2020).

SPECIFIC FEATURES OF FORMING A BASE OF FEATURES FOR TOOLS OF INTELLECTUAL AUDIT OF INFRASTRUCTURE OF ACS

Podtopelny Vladislav Vladimirovich, art. lecturer, information security department

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,
Kaliningrad, Russia, e-mail: ionpvv@mail.ru

The features of instrumental analysis of audit data of the network infrastructure of an enterprise are considered, taking into account the technological differences in the levels of the process control system. The specifics of training and the use of data mining systems for solving audit problems are studied, the features of the formation of a database of security events signs are given, taking into account the requirements of audit tasks. The main stages of the formation of analysis models are given and the methods of formation of these models are described. The features of the formation of the vector space of features used by the training bases are considered.

УДК 519.876.5:681.883.7

ИМИТАЦИЯ ПРОЦЕССА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ЭХОЛОТОМ В ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ LABVIEW

Холоденин Дмитрий Вячеславович, ст. преподаватель

Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «КГТУ»,
Калининград, Россия, e-mail: bffsa.rtf.srts.kdv@gmail.com

Приведен пример применения графической системы моделирования и программирования LabView фирмы National Instruments для имитации процесса отображения информации, полученной в реальных условиях от эхолота EK-500. Возрастающая необходимость внедрять в учебный процесс дистанционные и программные интерактивные средства обучения подчеркивает актуальность программного моделирования радиотехнических систем и имитации процессов, протекающих в них.

Данная работа является небольшим ответвлением от предыдущих результатов разработок и исследований автора [1; 2; 3; 4; 5] по извлечению и обработке исходной информации, которую в реальных условиях регистрируют гидроакустические системы, в последних работах использовались данные от эхолота Simrad EK-500 [6]. Регистрируемая данным эхолотом информация сохраняется в файлы с расширением *.ek5 (формат разработанный Simrad для EK-500) в виде бинарного кода. Код структурирован в виде последовательности телеграмм, которые записываются по байтам. Большую часть данных занимает графическая информация о сканируемой толще воды, именуемой как эхограмма (сонограмма). Также файлы содержат навигационную, гидрологическую и другую служебную информацию [7; 8].

В разработанных ранее алгоритмах [1; 2; 3; 4; 5] решались задачи расшифровки кода файлов сонограмм от разных моделей гидролокаторов, последующего формирования из кода массива необходимых данных, который можно в дальнейшем обрабатывать имеющимися в открытых источниках алгоритмами. Найденные алгоритмы адаптировались автором для решения уже других задач, таких как: оценка рыбных скоплений, поиск объектов, в том числе представляющие опасность для мореплавания и т.п. В последних работах [5; 9; 10] было дано описание и приведены примеры как обрабатываются файлы сонограмм от эхолота Simrad EK-500. В текущей же работе использовался уже обработанный, сохраненный массив данных этого эхолота из указанных последних работ т.к. упор делался на создание имитации устройства отображения гидроакустической информации с последующим внедрением ее в учебный процесс. Ниже приводятся изображения внешнего вида имитационной модели устройства отображения информации и алгоритмы на языке LabView, которые реализуют процессы, протекающие в этой имитационной модели.

Программа имитатора устройства отображения информации от эхолота EK500 запускается файлом «EK500-Study.vi», через программу LabView. При запуске приложения на экране монитора

отображается лицевая панель эхолота. Внешний вид копировался с технического описания и фотографий оригинального устройства. На лицевой панели имеются органы управления: джойстик, кнопка включения/выключения, регулятор яркости и контрастности. При запуске имитатора на дисплее начинает воспроизводиться сонограмма из сохраненного ранее массива данных. Скорректированная, для улучшения восприятия, в графическом редакторе лицевая панель изображена на рисунке 1.

В будущем, при полной отладке алгоритма, для запуска имитационной модели можно будет не использовать программу графического программирования LabView, а создать из проекта исполняемый exe-файл, который будет занимать значительно меньше места на устройстве памяти персона

а Как и в реальном приборе при нажатии джойстика вправо появляется главное меню эхолота, нажатие вверх или вниз переход с одной строки меню на другую, нажатие на сам джойстик приводит к выбору нужного меню и переход в подменю. На рисунке 2 показано главное меню эхолота, которое появляется при нажатии джойстика вправо.

о
г
о

к
о
м
п
ь
ю
т
е
р
а
,

д
а
ж
е
с

у
ч
е
т
о
м

у
с
т
а
н
о
в
к
и

н
е
о
б

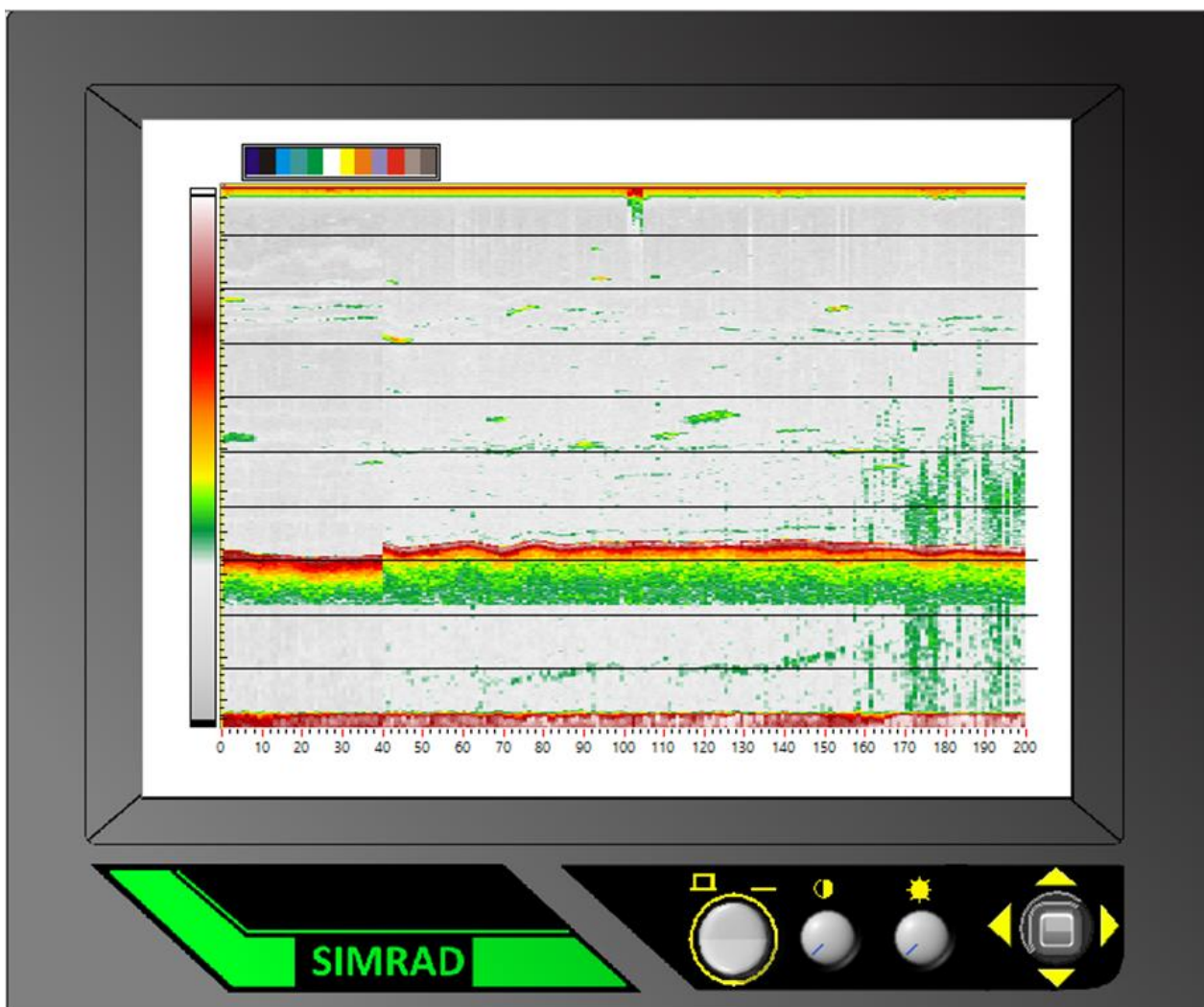


Рис. 1. Лицевая панель эхолота EK500

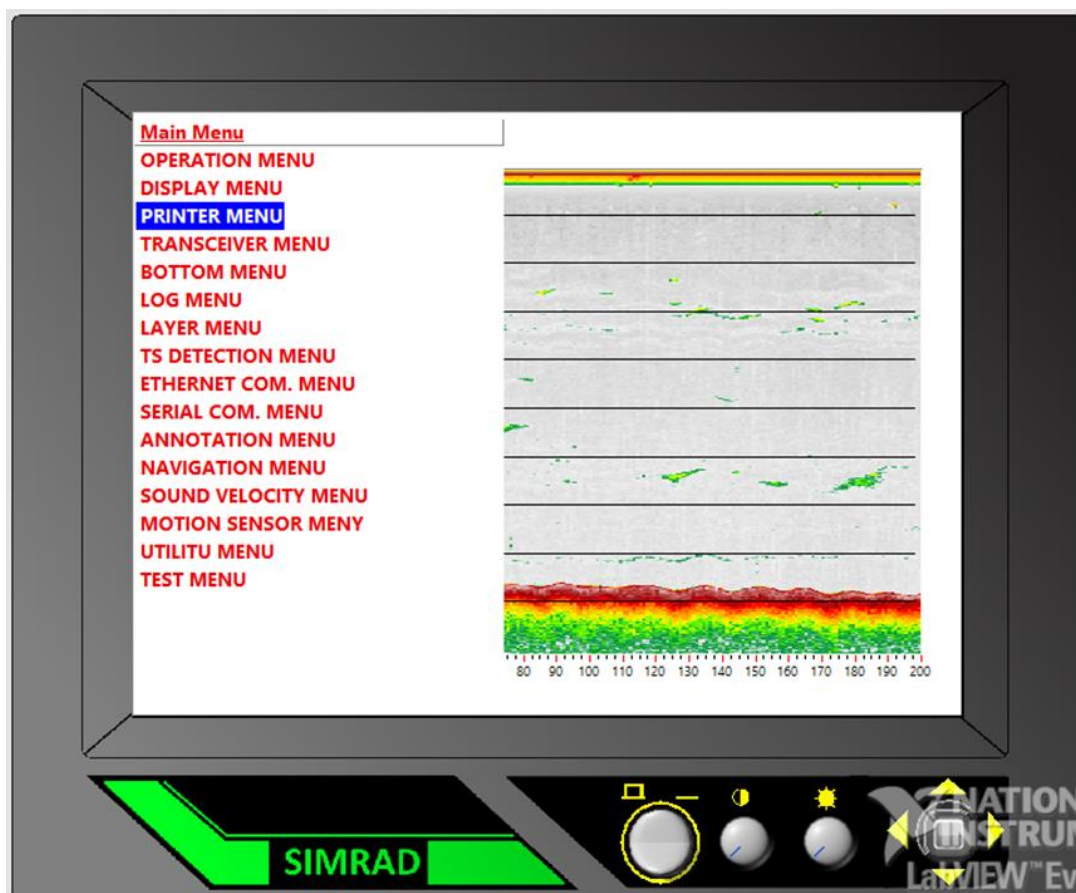


Рис. 2. Вызов главного меню

В имитаторе реализованы функции "Максимальная глубина" (Maximum Depth) и "Минимальная глубина" (Minimum Depth), находящиеся в меню "Определение дна" (BOTTOM MENU). Последовательный переход для выбора данных функций показан на рисунке 3.

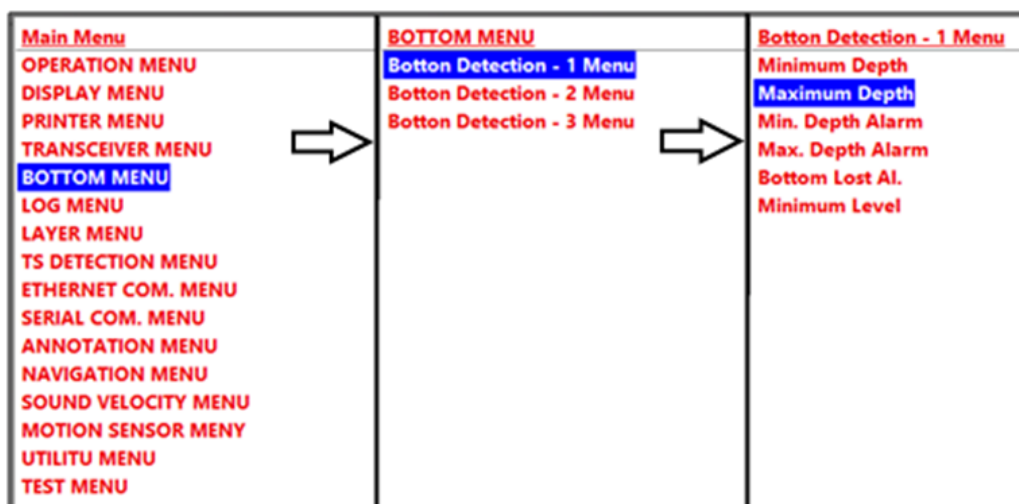


Рис. 3. Последовательный переход из главного списка меню для выбора параметров "Минимальная глубина" и "Максимальная глубина"

Минимальная глубина (Minimum Depth) задается от 0,0 до 9999,9 м с шагом 0,1м.

Эта команда устанавливает минимальную глубину для алгоритма обнаружения дна. Эхолот будет искать вероятный эхо-сигнал от грунта начиная с глубины, введенной в этой строке меню, т.е. алгоритм обнаружения дна будет игнорировать все эхо-сигналы выше установленной глубины.

Установка значения минимальной глубины равным 0,0 м означает, что поиск эхо-сигнала от грунта будет проводиться от поверхности.

Максимальная глубина ("Maximum Depth") задается от 0 до 12000 м с шагом 1м.

Эта команда устанавливает максимальную глубину для алгоритма обнаружения дна. Эхолот, согласно техническому описанию, должен прекращать поиск вероятного эхо-сигнала от грунта начиная с глубины, введенной в этой строке меню, т. е. алгоритм обнаружения дна будет игнорировать все эхо-сигналы ниже установленной глубины. Установка значения Максимальной глубины равным 0,0 м означает отключение алгоритма обнаружения дна.

На рисунке 4 показана развернутая последовательность открытия главного меню. При помощи структуры «Flat Sequence» в левой части происходит сброс заданных значений при перезапуске программы, а в правой части запуск процесса установленного пользователем события.

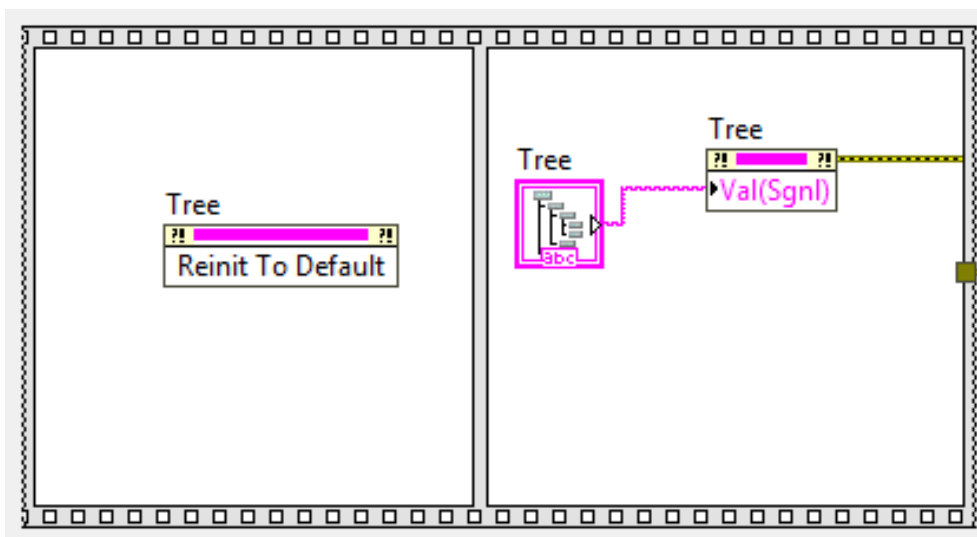


Рис. 4. Развернутая последовательность меню

На рисунке 5 приведена блок-диаграмма, осуществляющая поиск нужной строки меню начиная с первой строки главного меню.

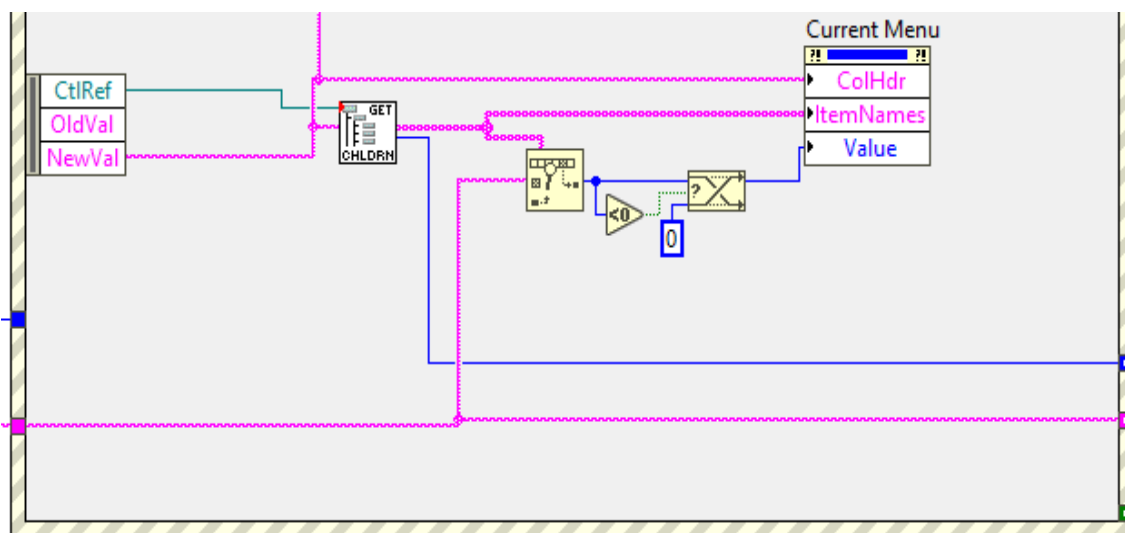


Рис. 5. Алгоритм поиска строки меню

Структура «Sequence» представленная на рисунке 6 осуществляет очистку строк главного меню и последующего вывода на экран обновленного подменю и наоборот.

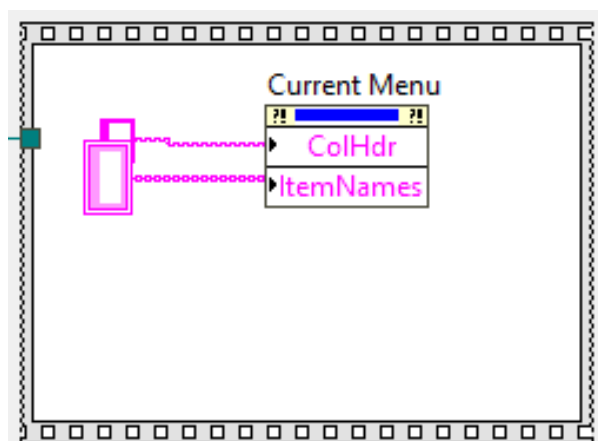


Рис. 6. Очистка строк меню

На блок-диаграмме, изображенной на рисунке 7, можно видеть алгоритм открытия и работы меню эхолота EK-500 при нажатии кнопки вызова меню.

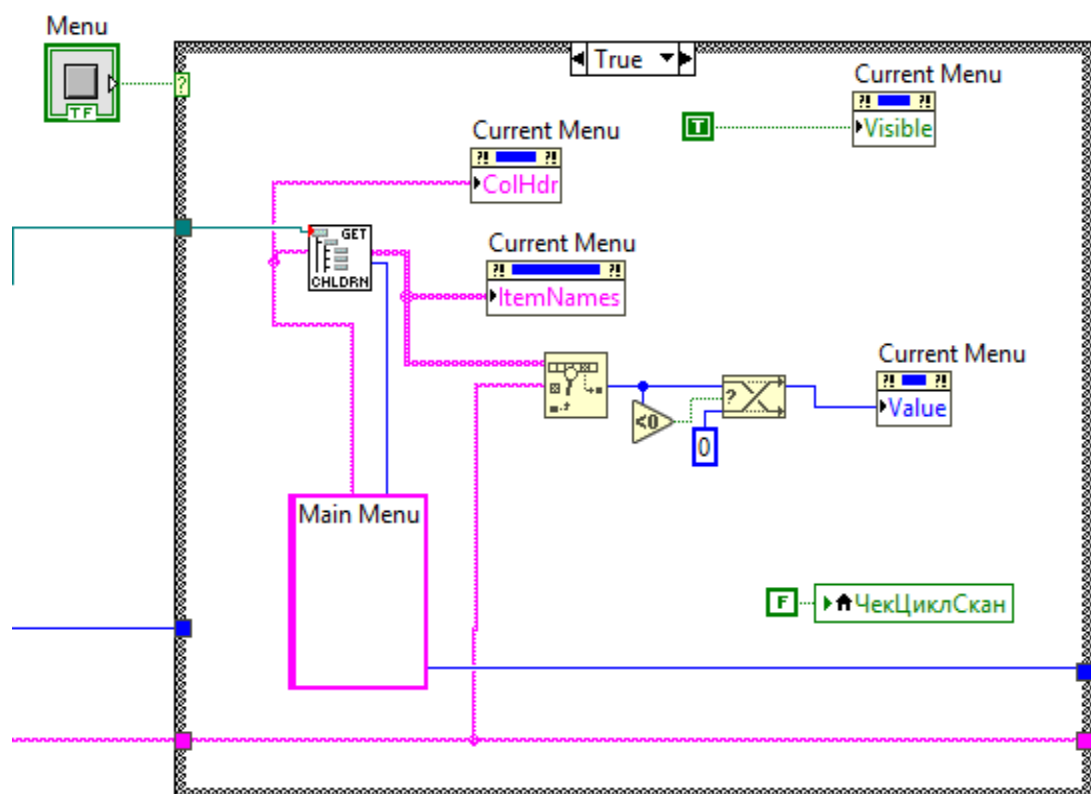


Рис. 7. Блок-диаграмма вызова меню эхолота EK500

Был использован элемент управления "древовидными меню" («Tree Controls»), чтобы выдать пользователю иерархический список пунктов меню и подменю, из которых можно выбирать и изменять параметры эхолота. Данное "древовидное меню" показано на рисунке 8.

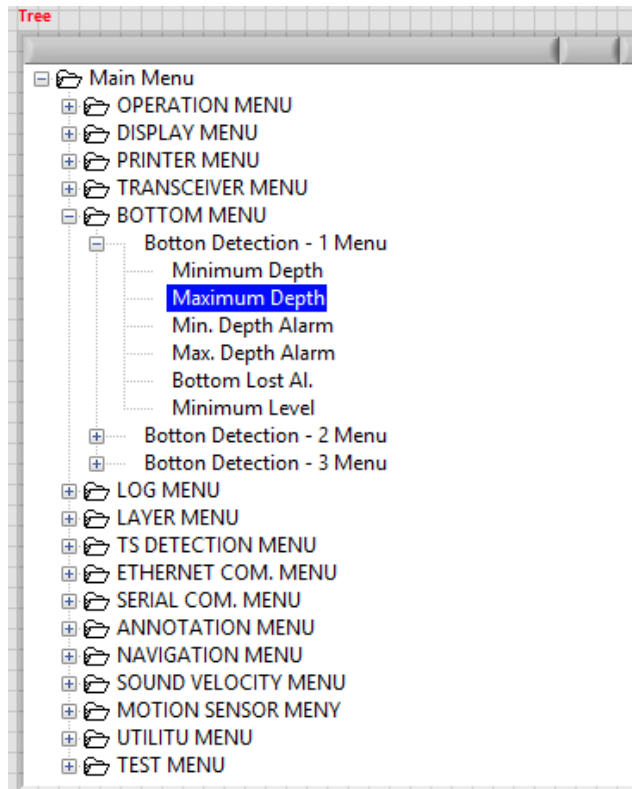


Рис. 8. Древоподобными меню

Для имитации работы управляющих элементов таких как кнопки перехода вверх\вниз в главном меню, кнопка вызова меню, кнопка ввод (выбор меню), кнопка назад ("Previous Button") были разработаны алгоритмы, которые приводятся на рисунках ниже.

Блок-диаграмма для перехода из главного меню в подменю показана на рисунке 9.

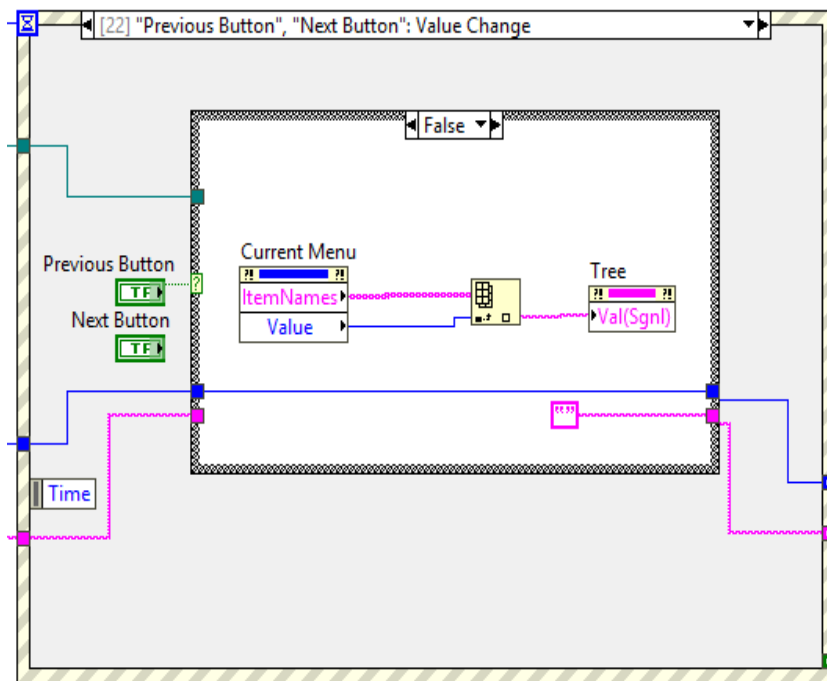


Рис. 9. Блок-диаграмма для выбора параметра главного меню

При нажатии на кнопку "Previous Button" или "Next Button" осуществляется переход из главного меню к нужному пользователю параметру. Также на данной блок-диаграмме осуществляется выделение выбранной строки меню.

Алгоритм для перехода с одной строки главного меню на другую при помощи органов управления "вверх" и "вниз" показана на рисунке 10. На представленной блок-диаграмме отслеживается какая выбрана строка меню, для реализации перехода с одной строки на другую.

Фрейм «Event» структуры обрабатывает события сразу двух кнопок ("Previous" и "Next" Buttons) соответствующие нажатию на панели кнопок управления "вверх" и "вниз". После нажатия на одну из них меняется значение нажатой кнопки и запускает алгоритм в этом фрейме. Определяется порядковый номер выделенной строки и в зависимости от нажатой кнопки либо увеличивает этот номер, либо уменьшает.

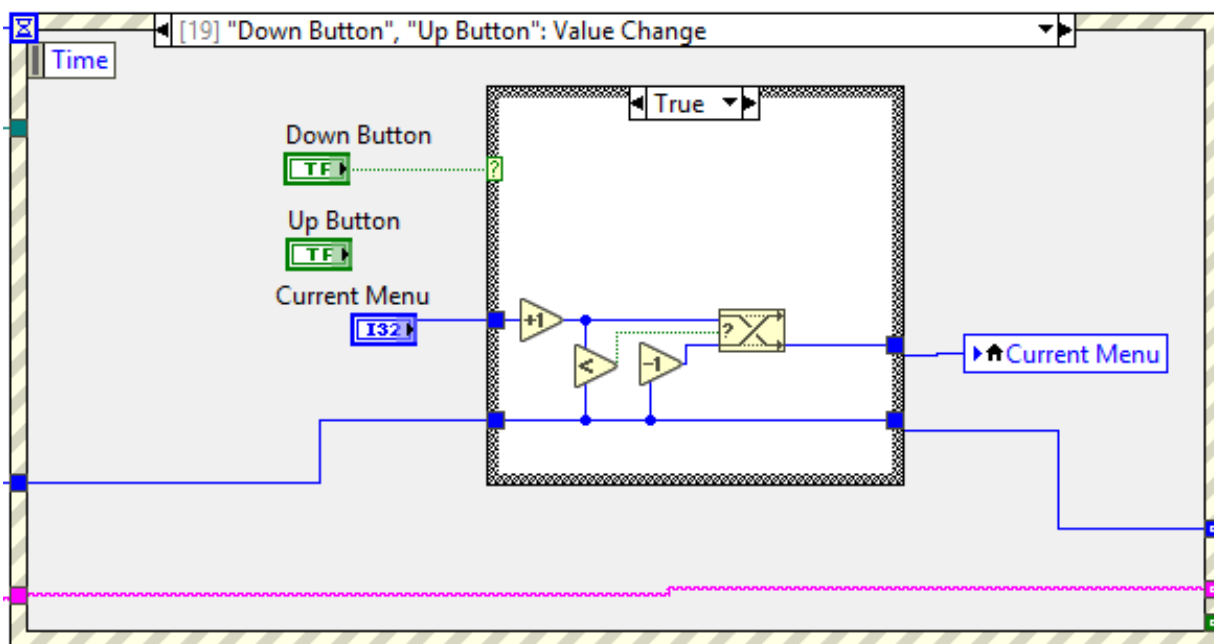


Рис. 10. Блок-диаграмма для перехода с одной строки главного меню на другую

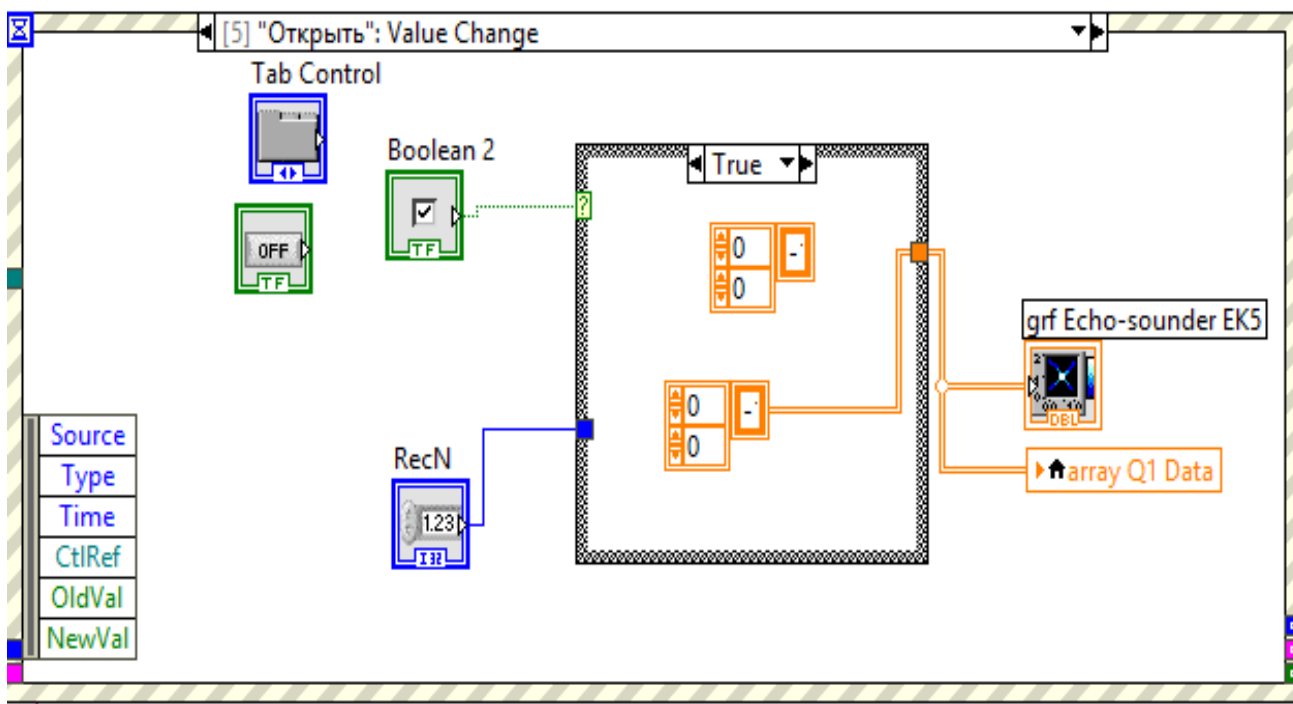


Рис. 11. Вывод эхограммы на дисплей

На рисунке 11 показана блок-диаграмма открытия и вывода сонограммы на дисплей имитатора устройства отображения гидроакустической информации эхолота.

Блок-диаграмма алгоритма отслеживания параметра "Maximum Depth" с дальнейшим вводом значения показан на рисунке 12.

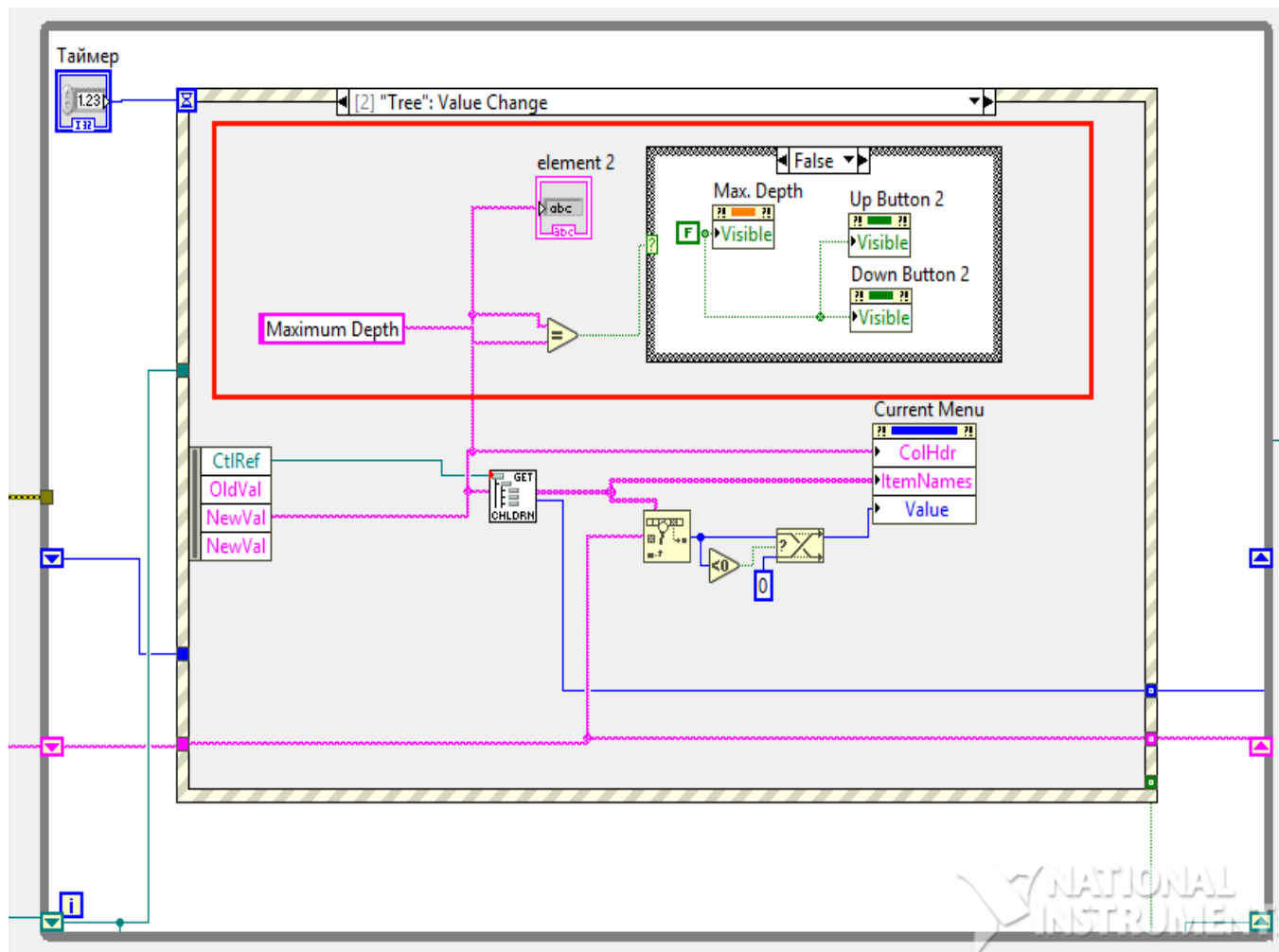


Рис. 12. Ввод значения параметра "Maximum Depth"

Аналогичная блок-диаграмма для параметра "Minimum Depth" представлена на рисунке 13.

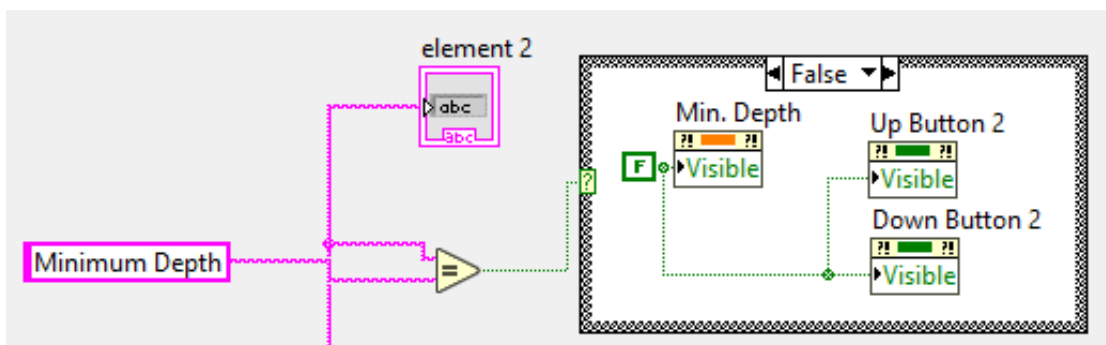


Рис. 13. Ввод значения параметра "Minimum Depth"

На рисунке 14 представлена блок-диаграмма, осуществляющая срез эхограммы при заданных значениях параметров "Maximum Depth" и "Minimum Depth" и задающая скорость воспроизведения эхограммы.

морской форум: материалы Международного форума, 28 - 31 мая 2013. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2013. – С. 32-42.

3. Холоденин, Д. В. Вторичная обработка информации гидроакустического комплекса «ПЭВ-К» в среде LabView с целью повышения безопасности мореплавания / Д. В. Холоденин, И. А. Ветров // III Балтийский морской форум (24÷30.05.2015г.): материалы Международного морского форума. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2015. – С.127-133.

4. Холоденин Д.В. Применение LabView для трехмерной реконструкции информации гидролокатора бокового обзора в масштабе реального времени / Д.В. Холоденин // IV Международный балтийский морской форум. IV Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» (22÷28.05.2016г.): материалы Международного Балтийского морского форума / КГТУ, БГАРФ ФГБОУ ВО "КГТУ". – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2016. – С. 443-454.

5. Холоденин Д. В. Алгоритм формирования эхограммы по информации эхолота EK-500 в графической среде моделирования LabView / Д. В. Холоденин // V Международный балтийский морской форум. V Международная научная конференция «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии» (21÷27.05.2017г.): материалы Международного морского форума. – Калининград: Изд-во БГАРФ, 2017. – С. 525-536.

6. SIMRAD EK-500 Scientific Sounder System [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: https://www.kongsberg.com/contentassets/9bcb8e2fac0044e6a065f6aca5385db4/043774ad_ek500_installation_manual_english_complete.pdf (дата обращения 10.09.2021).

7. SIMRAD BI-500 Postprocessing System. Technical specifications.

8. SIMRAD EP-500 Echo Postprocessing System. Technical specifications.

9. Холоденин Д.В., Вторичная обработка информации, извлекаемой из файлов формата EK5 эхолота EK-500 в графической среде моделирования LabView / Д.В. Холоденин // БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы VII Международного Балтийского морского форума 7-12 октября 2019 года [Электронный ресурс]: в 6 томах. Т. 2. «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», VII Международная научная конференция. - Электрон. дан. - Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2019. – С. 344-353, № гос. Регистрации 0321904339

10. Холоденин Д.В., Определение параметров рыбных скоплений по эхограмме в графической среде моделирования LabView / Д.В. Холоденин // БАЛТИЙСКИЙ МОРСКОЙ ФОРУМ: материалы VIII Международного Балтийского морского форума 5-10 октября 2020 года [Электронный ресурс]: в 6 томах. Т. 2. «Морская техника и технологии. Безопасность морской индустрии», VIII Международная научная конференция. – Электрон. дан. – Калининград: Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – С. 312-318, – 1 электрон. опт. диск.

IMITATION OF THE PROCESS OF DISPLAYING INFORMATION BY AN ECHO SOUNDER IN A GRAPHICAL PROGRAMMING ENVIRONMENT LABVIEW

Kholodenin Dmitrii, senior lecturer

Baltic fishing fleet state academy FSBEI HE «KSTU»,
Kaliningrad, Russia, e-mail: bffsa.rtf.srts.kdv@gmail.com

The article provides an example of using the National Instruments LabView graphic modeling and programming system to imitation the process of displaying information received in real conditions from the EK-500 echo sounder. The growing need to introduce Distance learning and software interactive teaching aids into the educational process emphasizes the relevance of software modeling of radio engineering systems and imitation of the processes occurring in them.