Морской Вестник

№4(80)
декабрь
2021
ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

АДМИРАЛТЕЙСКИЕ ВЕРФИ

**24 сентября 2021 года
АО «Адмиралтейские верфи»
спустило на воду четвертый в серии
БМРТ «Капитан Мартынов»**

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МОР ВЕСТ»: 20 ЛЕТ СОДЕЙСТВИЯ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРНЫХ И НАУЧНЫХ КАДРОВ ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ

Э.А. Конов, *директор издательства, гл. редактор журнала «Морской вестник», контакт. тел. (812) 600 4586*

15 *августа 2001 г. Санкт-Петербургская Регистрационная палата зарегистрировала издательство «Мор Вест». С этого момента началась подготовительная работа по созданию ежеквартального журнала «Морской вестник». 2 ноября 2001 г. Северо-Западным окружным межрегиональным управлением по печати этот научно-технический и информационно-аналитический журнал с территорией распространения в Санкт-Петербурге и Ленинградской области был зарегистрирован. Затем были сформированы редакционный совет и редакционная коллегия журнала, которой предстояло взять на себя функции по отбору и рецензированию статей. В нее были приглашены ведущие ученые в области морской деятельности.*

Редакционный совет формировался на основании Генерального соглашения по учреждению такого совета, которое в декабре 2001 г. подписали с одной стороны представители инициативной группы: К.П. Борисенко, ректор СПбГМТУ, А.Н. Тихомиров, генеральный директор ЗАО «Транстех Нева Эксибишнс», А.П. Матлах, генеральный директор ООО «НПО «Полярная звезда» и Э.А. Конов, директор ООО «Издательство «Мор Вест», а с другой – представители промышленных и проектных предприятий: В.Л. Александров, генеральный директор ГУП «Адмиралтейские верфи», Л.Г. Грабовец, генеральный директор ОАО «СФ «Алмаз», О.Б. Шуляковский, генеральный директор ОАО «Балтийский завод», В.А. Радченко, генеральный директор ОАО «Звезда», Л.Г. Кузнецов, генеральный директор ОАО «Компрессор», Г.Д. Филимонов, генеральный директор ЗАО «Концерн «Морфлот», С.П. Абрамов, генеральный директор ОАО «Редан», В.В. Венков, генеральный директор ОАО «Северная верфь», М.А. Лобин, генеральный директор ОАО «Северо-Западное пароходство», Е.В. Комраков, генеральный директор ЗАО «Транзас» и А.М. Соловейчик, генеральный директор ОАО «Ленполиграфмаш». Так был дан старт деятельности издательства «Мор Вест».

Редакционный совет взял на себя обязанности: формирование концептуальной издательской политики журнала и его годового бюджета на основе долевого финансирования затрат на редакционно-издательскую подготовку и печать; перспективное планирование основных рубрик журнала и обеспечение его регулярного (четыре раза в год) выпуска, а также контроль за распространением.

В соответствии с Генеральным соглашением каждое предприятие–член редсовета заключило договор с издательством «Мор Вест» на долевую оплату затрат по выпуску журнала.

24 января 2002 г. состоялось первое заседание редакционного совета, на котором был утвержден состав редакционной коллегии, определена периодичность издания журнала, принята рубрикация статей, сформулированы требования к представляемым статьям, определено рекламное поле и согласован порядок использования обложек журнала для размещения рекламных модулей.

Для расширения территории распространения в РФ, странах СНГ и зарубежных странах 11 марта 2002 г. журнал был перерегистрирован в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Первый номер журнала вышел в свет в марте 2002 г., а сегодня вы держите в руках уже 80-й номер.

За прошедшие двадцать лет десятки аспирантов и соискателей воспользовались возможностью публикации научных статей в журнале на бесплатной основе. В мае 2004 г. журнал включен Высшей аттестационной комиссией (ВАК) в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. Полная электронная версия журнала размещается на сайте «Научной электронной библиотеки», а сам журнал включен в Российский индекс научного цитирования.

Наряду с подписными номерами журнала издательство подготовило ряд специальных выпусков с материалами научных конференций и мероприятий, которые проводились на предприятиях и в организациях, входящих в состав редсовета. В их числе:

- *восемь выпусков с Трудами НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, 2004–2011 гг.;*
- *выпуски с материалами 1-й Российской научно-практической конференции судостроителей, 2007 г., и с материалами юбилейной научно-технической конференции, посвященной 180-летию Александровского – Пролетарского завода, 2007 г.;*
- *выпуск к 100-летию Б.Е. Бутомы (РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова), 2007 г.;*
- *выпуски с Трудами Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, 2012 и 2013 гг. и с Трудами XX юбилейной научно-технической конференции ОАО «Концерн «Гранит-Электрон», 2016 г.;*
- *выпуск журнала «Управление инновационными проектами» (АО «Объединенная судостроительная корпорация»), 2020 г.*

За эти годы издательство «Мор Вест» выпустило целый ряд научных монографий и учебников, а также исторических книг:

- *«Борьба с вибрацией на судах» (2005 г., авт. В.Л. Александров, А.П. Матлах, В.И. Поляков);*
- *«Присоединенные массы судостроительных конструкций» (2007 г., авт. А.Н. Короткин);*
- *«Гидромеханика» (2007 г., авт. А.Ш. Ачкинадзе, А.Р. Бесядовский, В.В. Васильева, Н.В. Корнев, Ю.Н. Фадеев);*
- *«Мировое судостроение» (2009 г., авт. С.И. Логачев, В.В. Чугунов, Е.А. Горин);*
- *«Метод расчета продольных скоростей в пристенных турбулентных течениях несжимаемой жидкости» (2009 г., авт. А.Н. Короткин, Ю.А. Роговой);*
- *«Мифы и реальности гидробионики» (2012 г., авт. А.И. Короткин);*
- *«Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений» (2021 г., авт. Р.Н. Караев);*
- *«Светогорск» (2002 г., по материалам Ф.Ф. Осмакова);*
- *«А.Н. Крылов – ученый, педагог, инженер» (2003 г., авт. Ю.В. Варганов);*
- *«История российского высшего военно-морского образования в лицах» (2004 г., авт. И.М. Кузинец);*
- *«Кормчие России. Адмиралтейские верфи в трех веках», 1-й том: «Судьбы и решения на переломе эпохи», 2005 г.;*
- *«А.Н. Крылов – ученый, педагог, инженер, общественный деятель» (2006 г., авт. Ю.В. Варганов);*
- *«Судьбы, эпохи, решения», т. 2, 2006 г., авт. Ю.И. Сыроежина;*
- *«Е.Н. Мнёв в истории создания баллистических ракет морского базирования» (2007 г., авт. Ю.Д. Пряхин);*
- *«За погружением – всплытие» (2010 г., авт. Ю.Н. Курганский, С.П. Сирый);*
- *«Цикл жизни» (2011 г., авт. А.Ю. Смирнов);*
- *«Морские министры императорского флота России» (2016 г., авт. С.П. Сирый).*

Редакция журнала, издательство «Мор Вест» и, насколько нам известно, все наше научно-техническое сообщество благодарны членам редсовета и редколлегии, а также авторам за их бескорыстную, самоотверженную и непростую работу по сохранению лучших традиций российского судостроения и отечественной науки, поддержку некоммерческого проекта по выпуску научных изданий и деятельности по подготовке инженерных и научных кадров для предприятий промышленности, проектных организаций и научных учреждений. ■

Морской Вестник

Morskoy Vestnik

№4(80)
декабрь
2021

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет
Председатель
А.Л. Рахманов, генеральный директор
АО «Объединенная судостроительная корпорация»
Сопредседатели:
М.В.Александров, генеральный директор АО «ЦТСС»,
президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО
В.С. Никитин, президент Международного
и Российского НТО судостроителей
им. акад. А.Н. Крылова
Г.А. Туричин, ректор СПбГМТУ
Члены совета:
А.С. Бузаков, генеральный директор
АО «Адмиралтейские верфи»
Н.М.Вихров, генеральный директор
ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»
Е.Т. Гамбашидзе, генеральный директор
АО «Системы управления и приборы»
В.Ю. Дорофеев, генеральный директор
АО «СПМБМ «Малахит»
В.В. Дударенко, генеральный директор
ООО «Судпромкомплект»
А.А. Дьячков, генеральный директор
АО «Северное ПКБ»
М.В.Захаров, генеральный директор
ООО «Пумори-северо-запад»
С.Н. Ирютин, председатель
Санкт-Петербургского Морского Собрания
М.В. Исполов, директор
ЗАО «ЦНИИ СМ»
Э.А. Конов, директор ООО Издательство «Мор Вест»
А.А. Копанев, генеральный директор
АО «НПФ «Меридиан»
Г.А. Коржавин, научный руководитель
АО «Концерн «Гранит-Электрон»
А.В. Кузнецов, генеральный директор АО «Армалит»
Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор
АО «Компрессор»
Г.Н. Муру, генеральный директор АО «51 ЦКТИС»
А.Г. Родионов, генеральный директор
АО «Ситроникс КТ»
С.В. Савков, генеральный директор
АО «Новая ЭРА»
В.А. Середохо, генеральный директор
АО «СНСЗ»
К.А. Смирнов, генеральный директор АО «МНС»
А.С. Соловьев, генеральный директор
ПАО «Выборгский судостроительный завод»
И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»
В.С. Татарский, генеральный директор АО «ЭРА»
А.Л. Ульянов, генеральный директор
ООО «Нева-Интернэшнл»
С.Г. Филимонов, генеральный директор
АО «Концерн Морфлот»
Г.Р. Цатуров, генеральный директор
ОАО «Пелла»
В.В. Шаталов, генеральный директор
АО КБ «Вымпел»
К.Ю. Шилов, генеральный директор
АО «Концерн «НПО «Аврора»
А.В. Шляхтенко, генеральный директор
АО «ЦМКБ «Алмаз»
И.В. Щербаков, генеральный директор
ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

Э.А. Конов. *Издательство «Мор Вест»: 20 лет содействия подготовке научных кадров для судостроения* 1

На Средне-Невском судостроительном заводе состоялся спуск на воду инновационного научно-исследовательского судна «Пионер-М» 7

П.Ю. Петров. *Преимущества применения полимерных композитных материалов при изготовлении маломерных судов* 11

Л.И. Вишневский, А.Р. Тогуняц. *Сравнительные реверсивные характеристики судна, оснащенного винтом изменяемого шага* 13

А.Г. Егоров. *Профессор Г.В. Егоров: наука и практика* 17

Памяти Р.А. Шмакова 27

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Г.С. Зверев, А.А. Юртаев, О.С. Портнова. *Судоремонт рыбопромыслового флота на Дальнем Востоке России: текущая ситуация и основные проблемы* 28

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

А.В. Шляхтенко, И.Г. Захаров, В.В. Барановский. *Анализ обоснованности технических решений при формировани облика энергетических установок перспективных кораблей* 35

В.В. Замуков, Е.В. Сальников, М.И. Романова, В.А. Михайлов, Д.В. Сидоренков. *Основные направления работ отделения энергетики АО «СПМБМ «Малахит»* 41

В.В. Фогель, И.В. Онорин, В.Ю. Селякова, В.Н. Грачев. *Инновационный подход к расчету сопротивления изоляционных материалов в обмотках ДУ статических преобразователей корабельных систем компенсации электромагнитных полей* 43

В.С. Кожевников, П.К. Смирнов. *Расчет глубоководного гидравлического манипулятора МГМ-7. Часть 1* 47

В.К. Румб, Хтоо Наинг Аунг. *Методические основы определения температуры нагрева упругих муфт при расчете крутильных колебаний судовых валопроводов* 51

Ю.В. Копытов, М.А. Шахнов, А.Н. Викторов. *Рассмотрение и определение расчетных соотношений величин давлений в полостях гидроцилиндров рулевых машин при дроссельном регулировании* 53

Н.В. Бабанин. *Снижение динамической нагруженности газотурбинного двигателя (ГТД) за счет установки диссипирующего упругого звена (ДУЗ) с оптимальными параметрами* 56

А.З. Багерман. *Прогнозная оценка пределов длительной прочности, выносливости, ползучести и механических свойств сплавов на основе никеля* 62

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

А.Г. Юрескул, А.Н. Попадьин, В.С. Кашлаков, Е.А. Сапожков, М.М. Еремеев. *Базовая технология обеспечения проектирования и испытаний морских безэкипажных комплексов* 65

А.А. Рябов, О.Д. Осипов, С.П. Буртный. *Переход на технологию 3D картографирования морских акваторий* 69

В.Б. Шариков. *ЭКНИС «Беринг»* 76

В.Г. Ерышов, Р.Д. Куликов. *Моделирование системы технической защиты конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемых объектах информатизации предприятия* 78

А.В. Макшанов, В.А. Колесник, Д.В. Быков, Е.Н. Антонова. *Применение алгоритмов идентификации многомерных хаотических временных рядов при оценке пожароопасной ситуации в корабельных помещениях* 82

Ю.А. Губанов. *К 90-летию со дня рождения В.В. Войтецкого* 87

Памяти Ю.И. Нечаева 94

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

Г.Е. Егиазаров, В.В. Якимов. *Обеспечение безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях: вызовы и возможности цифровой реальности. Часть 1* 95

П.А. Шауб, А.А. Уляшев. *Оценка поведения судов в современных штормовых условиях* 101

В.Н. Илюхин, Ф.Д. Виноградов, Н.А. Вальдман, В.И. Таровик. *О совершенствовании требований к судовым спасательным средствам* 104

Г.А. Пелехов. *Расчетные модели крепления пакетированных пиломатериалов при перевозке на открытой палубе судов* 110

В.Г. Данилова. *Обследование акватории несколькими автономными необитаемыми подводными аппаратами, базирующихся на одном донном причальном устройстве* 113

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

В.С. Никитину – 70 лет 115

В.С. Никитин, К.В. Рождественский. *Эстафетная международная конференция PAAMES/AMEC2021* 116

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, Н.Н. Мизиркина, А.А. Васильева. *Объединение теории и практики военного кораблестроения в образовательном процессе Военно-морской академии в годы Великой Отечественной войны* 118

А.В. Михайлов, И.А. Алексеев. *Организация реконструкции и технического перевооружения объекта культурного наследия «Разбивочный плаз», входящего в состав АО «Адмиралтейские верфи»* 122

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

И.А. Лещенко. *Избран Председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания* 127

Главный редактор
Э.А. Конов, канд. техн. наук
Зам. главного редактора
Д.С. Глухов
Тел./факс: (812) 6004586
Факс: (812) 3124565
E-mail: morvest@gmail. com
www. morvest. ru
Редакционная коллегия
Г.Н. Антонов, д-р. техн. наук
А.И. Гайкович, д-р. техн. наук, проф.
Е.А. Горин, д-р эконом. наук
В.Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.
Б.П. Ионов, д-р техн. наук, проф.
Д.В. Казунин, д-р техн. наук
Р.Н. Караев, канд. техн. наук
Ю.Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф.
А.И. Короткин, д-р техн. наук, проф.
П.А. Кротов, д-р истор. наук, проф.
П.И. Малеев, д-р техн. наук
Д.В. Никущенко, д-р техн. наук
Ю.Ф.Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., акад. РАРАН
В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф.
А.В. Пустошный, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН
А.А. Родионов, д-р техн. наук, проф.
К.В. Рождественский, д-р техн. наук, проф.
В.И. Черненко, д-р техн. наук, проф.
Н.П. Шаманов, д-р техн. наук, проф.
Редакция
Тел./факс: (812) 6004586
E-mail: morvest@gmail. com
Редактор
Т.И. Ильичёва
Дизайн, верстка
С.А. Кириллов, В.Л. Колпакова
Адрес редакции
190068 Санкт-Петербург,
наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н
Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12047 от 11 марта 2002 г.
Учредитель-издатель
ООО Издательство «Мор Вест»,
190068, Санкт-Петербург,
наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н
Электронная версия журнала
размещена на сайте ООО «Научная электронная библиотека» www. elibrary. ru и включена в Российский индекс научного цитирования
Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник» включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. www.perechen.vak2.ed.gov.ru
Подписка на журнал «Морской вестник»
(индекс ПМ 467) может быть оформлена по каталогу Почты России «Подписные издания» или непосредственно в редакции журнала через издательство «Мор Вест»
Отпечатано в ООО «Типография «Премиум-пресс»
Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург, Нарвский пр., д.18 лит. А
Тираж 500 экз. Заказ № 1888
Дата выхода в свет – 09.12.2021
Каталожная цена – 675,42 руб.

Ответственность за содержание информационных и рекламных материалов, а также за использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка допускается только с разрешения редакции

Морской Вестник

№4(80)
December
2021

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council
Chairman
A.L. Rakhmanov, General Director
of JSC United Shipbuilding Corporation
Co-chairman:
M.V. Alexandrov, General Director JSC SSTC,
President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region
V.S. Nikitin,
President of the International
and Russian Scientific and Technical Association
of Shipbuilders named after Acad. A.N. Krylov
G.A. Turichin, Rector SPbSMTU
Council Members:
A.S. Buzakov, General Director
JSC Admiralty Shipyards
A.A. Diachkov, General Director
JSC Severnoye Design Bureau
V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMDB Malachite
V.V. Dudarenko, General Director
JSC Sudpromkomplekt
S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot
E.T. Gambashidze, General Director
JSC Control Systems and Instruments
S.N. Iryutin, Chairman
St. Petersburg Marine Assembly
M.V. Ispolov, Director JSC CRIME
E.A. Konov, Director
JSC Publishing House Mor Vest
A.A. Kopanev, General Director
JSC SPF Meridian
G.A. Korzhavin, Scientific Director
JSC Concern Granit-Elektron
A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armalit
L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor
G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR
A.G. Rodionov, General Director
JSC Sitronics KT
S.V. Savkov, General Director
JSC NE
I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt
V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ
V.V. Shatalov, General Director
JSC DO Vympel
K.Yu. Shilov, General Director
JSC Concern SPA Avrora
A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB
K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS
A.S. Solov'yev, General Director
PJSC Vyborg Shipyard
I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA
V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA
G.R. Tsaturov, General Director
OJSC Pella
A.L. Ulyanov, General Director
LLC Neva International
N.M. Vikhrov, General Director
JSC Kanonersky Shiprepairing Yard
M.V. Zakharov, General Director
JSC Pumori-north-west

CONTENTS

E.A. Konov. *Publishing House «Mor Vest»: 20 years of assistance in the training of scientific personnel for shipbuilding* 1

P. Yu. Petrov. *Advantages of using polymer composite materials in the manufacture of small ships* 11

L.I. Vishnevsky, A.R. Togunjac. *Comparative reversing characteristics of a vessel equipped with a variable pitch propeller* 13

A. G. Egorov. *Professor G. V. Egorov: Science and Practice* 17

In memory of R.A. Shmakov 27

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

G.S. Zverev, A.A. Yurtaev, O.S. Portnova. *Ship repair of the fishing fleet in the Russian Far East: current situation and main problems* 28

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

A. V. Shlyakhtenko, I. G. Zakharov, V. V. Baranovsky. *Analysis of the feasibility of technical solutions in the formation of the appearance of power plants of promising ships* 35

V. V. Zamukov, E. V. Sal'nikov, M.I. Romanova, V.A. Mikhailov, D. V. Sidorenkov. *Main directions of work of the power engineering department of Malachit JSC SPMBM* 41

V. V. Fogel', I. V. Onorin, V.Yu. Selyakova, V.N. Grachev. *An innovative approach to the calculation of the resistance of insulating materials in the windings of the remote control of static converters of ship systems for compensating electromagnetic fields* 43

V.S. Kozhevnikov, P.K. Smirnov. *Calculation of the MGM-7 deep-water hydraulic manipulator. Part 1* 47

V.K. Rumb, Htoo Naing Aung. *Methodological foundations for determining the heating temperature of elastic couplings in the calculation of torsional vibrations of ship shafting* 51

Yu. V. Kopytov, M.A. Shakhnov, A.N. Viktorov. *Consideration and determination of the calculated ratios of the pressures in the cavities of the hydraulic cylinders of steering machines with throttle control* 53

N. V. Babanin. *Reducing the dynamic loading of a gas turbine engine (GTE) due to the installation of a dissipating elastic link (DUZ) with optimal parameters* 56

A.Z. Bagerman. *Predictive assessment of the limits of long-term strength, endurance, creep and mechanical properties of nickel-based alloys* 62

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

A. G. Yureskul, A.N. Popad'in, V.S. Kashlakov, E.A. Sapozhkov, M.M. Eremeev. *Basic technology to ensure the design and testing of unmanned marine complexes* 65

A.A. Ryabov, O.D. Osipov, S.P. Burtny. *Transition to the technology of 3D mapping of sea areas* 69

V.B. Sharikov. *ECDIS «Bering»* 76

V.G. Eryshov, R.D. Kulikov. *Modeling of a system of technical protection of confidential information processed at protected objects of informatization of an enterprise* 78

A.V. Makshanov, V.A. Kolesnik, D.V. Bykov, E.N. Antonova. *Application of identification algorithms for multidimensional chaotic time series when assessing a fire hazardous situation in ship premises* 82

Yu.A. Gubanov. *On the occasion of the 90th anniversary of the birth of V.V. Voytetsky* 87

In memory of Yu.I. Nechaev 94

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

G.E. Egiazarov, V.V. Yakimov. *Ensuring the safe operation of ships in ice conditions: challenges and opportunities of digital reality. Part 1* 95

P.A. Schaub, A.A. Ulyashev. *Assessment of the behavior of ships in modern storm conditions* 101

V.N. Ilyukhin, F.D. Vinogradov, N.A. Wal'dman, V.I. Tarovik. *On improving the requirements for ship rescue equipment* 104

G.A. Pelekhov. *Design models of fastening packaged sawn timber during transportation on an open deck of ships* 110

V.G. Danilova. *Survey of the water area by several autonomous unmanned underwater vehicles based on one bottom mooring device* 113

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

V.S. Nikitin is 70 years old 115

V.S. Nikitin, K.V. Rozhdestvensky. *International Relay Conference PAAMES/AMEC2021* 116

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, N.N. Mizirkina, A.A. Vasil'eva. *Combining the theory and practice of military shipbuilding in the educational process of the Naval Academy during the Great Patriotic War* 118

A.V. Mikhailov, I.A. Alekseev. *Organization of reconstruction and technical re-equipment of the cultural heritage site «Breakout plaza», which is part of Admiralty Shipyards JSC* 122

IN THE MARITIME ASSEMBLY

I.A. Leshchenko. *The Chairman of the St. Petersburg Maritime Assembly was elected* 127

Editor-in-Chief
E.A. Konov, Ph. D.
Deputy Editor-in-Chief
D.S. Glukhov
Phone/Fax: +7 (812) 6004586
Fax: +7 (812) 3124565
E-mail: morvest@gmail.com
www.morvest.ru
Editorial Collegium
G.N. Antonov, D. Sc.
V.I. Chernenko, D. Sc., Prof.
A.I. Gaikovich, D. Sc., Prof.
E.A. Gorin, D. Sc.
V.N. Ilyukhin, D. Sc., Prof.
B.P. Ionov, D. Sc., Prof.
D.V. Kazunin, D. Sc.
R.N. Karaev, Ph. D.
Yu.N. Kormilitsin, D. Sc., Prof.
A.I. Korotkin, D. Sc., Prof.
P.A. Krotov, D. Sc., Prof.
P.I. Maleev, D. Sc.
D.V. Nikushchenko, D. Sc.
Yu.F. Podoplyokin, D. Sc., Prof., member of the Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia
V.N. Polovinkin, D. Sc., Prof.
A.V. Pustoshny, D. Sc., Prof., corresponding member of the Academy of Sciences of Russia
A.A. Rodionov, D. Sc., Prof.
K.V. Rozhdestvensky, D. Sc., Prof.
N.P. Shamanov, D. Sc., Prof.

Editorial staff
Phone/Fax +7 (812) 6004586
E-mail: morvest@gmail.com
Editor
T.I. Ilyichiova
Design, imposition
S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova
Editorial office
office 13N, 84, Nab. r. Moyki,
190068, St. Petersburg
The magazine is registered by RF Ministry of Press, TV and Radio Broadcasting and Means of Mass Communications, Registration Certificate ПИ № 77-12047 of 11 march 2002
Founder-Publisher
JSC Publishing House «Mor Vest»
office 13N, 84, Nab. r. Moyki,
190068, St. Petersburg
The magazine electronic version
is placed on the site LLC «Nauchnaya electronnaya biblioteka» www.elibrary.ru and is also included to the Russian index of scientific citing
By the decision of the Council of VAK the Morskoy Vestnik magazine is entered on the list of the leading scientific magazines and editions published in the Russian Federation where basic scientific outcomes of doctoral dissertations shall be published.
www.perechen.vak2.ed.gov.ru
You can **subscribe to the Morskoy Vestnik** magazine using Russian Post Catalog «Subscription editions» (subscription index ПМ 467) or directly at the editor's office via the Morvest Publishing House
Printed by Premium Press Printing House LLC
Printing house address 190020 St. Petersburg Narvsky prospect, 18, letter A
Circulation 500. Order № 1888
Publication date – 09.12.2021
Catalog price – 675,42 rubles
Authors and advertisers are responsible for contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press.
Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ СОСТОЯЛСЯ СПУСК НА ВОДУ ИННОВАЦИОННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА «ПИОНЕР-М»

АО «Средне-Невский судостроительный завод»,
контакт. тел. (812) 648 3086

24 сентября на Средне-Невском судостроительном заводе состоялась торжественная церемония спуска на воду научно-исследовательского судна «Пионер-М», на котором впервые в России будут внедряться технологии безэкипажного судовождения.

В церемонии приняли участие заместитель Председателя Правительства РФ Дмитрий Чернышенко, губернатор Санкт-Петербурга Александр Беглов, генеральный директор АО «ОСК» Алексей Рахманов, председатель Совета директоров ОСК Георгий Полтавченко, генеральный директор Средне-Невского судостроительного завода Владимир Середохо, ректор Севастопольского государственного университета Владимир Нечаев. Крестной матерью судна стала генеральный директор Агентства стратегических инициатив Светлана Чупшева.

Выступая на митинге, Александр Беглов отметил: «Мы благодарны за выбор Петербурга в качестве участника столь значимого инновационного проекта. Для города важно, что на наших верфях создаются высокотехнологичные суда. Для Средне-Невского завода строительство судна «Пионер-М» – это возможность применить свои уникальные технологии в области композитного судостроения. Это отличный пример кооперации в рамках одного заказа. Проект реализуется при участии Агентства стратегических инициатив и ОСК, которые уже давно являются надежными партнерами Петербурга».

Генеральный директор Объединенной судостроительной корпорации Алексей Рахманов сказал: «Пионер-М» станет первым в России судном, на котором будут отрабатываться технологии безэкипажного судовождения. Мы видим его в ближайшем будущем «беспилотным автомобилем» на воде. Корпорация шаг за шагом внедряет автоматизированные системы, появление которых все больше приближает нас к эре беспилотного судовождения. А это не только минимизация издержек при строительстве судов, удешевление перевозок, но и снижение экологической нагрузки на акватории рек и морей».

Глава Средне-Невского судостроительного завода Владимир Середохо отметил: «Пионер-М» – первое в России научно-исследовательское судно, созданное из композитных материалов. Наш завод всегда отличался внедрением инновационных идей, которые позволяли поступательно развиваться не только предприятию, но и российскому судостроению в целом. И сегодня завод не отходит от сложившихся традиций и продолжает уделять особое внимание внедрению подобных технологий».

«Пионер-М» строится для Севастопольского государственного университета и представляет собой маломерное научно-исследовательское судно катамаранного типа с корпусом, выполненным из композитных материалов. Судно предназначено для круглогодичного выполнения широкого спектра комплексных научно-исследовательских работ в прибрежных районах Черного и Азовского морей, в том числе океанографических, гидробиологических, гидрохимических, геоморфологических, гидроакустических и водолазных.

С таким широким спектром задач «Пионер-М» может справляться благодаря реализации модульной системы научных лабораторий контейнерного типа, используемых поочередно. НИС «Пионер-М» будет обладать технологиями безэкипажного судовождения благодаря интегрированной системе управления и взаимодействия с морскими мобильными научно-исследовательскими лабораториями.

Проект реализован при поддержке Министерства образования и науки РФ и Агентства стратегических инициатив, стратегическим партнером выступило АО «Центр судоремонта «Звездочка» (входит в АО «ОСК»).

На торжественном митинге выступает генеральный директор АО «ОСК» А.Л. Рахманов

НИС «Пионер-М» во время спуска

Основные характеристики НИС «Пионер-М»

Длина, м	25,7
Ширина, м	9,04
Осадка, не более, м	1,5
Водоизмещение, т	114
Скорость максимальная, уз	10
Мощность ГД, кВт	246×2
Мореходность: максимальная высота волны, м	3,5
Автономность, сут.	5
Дальность плавания, мили	500
Экипаж, чел.	4
Дополнительный персонал, чел.	12
Класс судна	Специальное, КМ✪R3-RSN

«Пионер-М» – первый федеральный проект по созданию научно-исследовательского судна с участием талантливых студентов. В рамках конкурса студенческих инициатив «Я буду строить корабли» на базе Севастопольского университета собрались команды ведущих кораблестроительных вузов страны, которые предлагали идеи постройки корабля, призванного определить будущее судостроения в России. В результате межвузовская студенческая команда под руководством преподавателей и наставников из ОСК создала концепт этого судна пр. 25700. ■

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МАЛОМЕРНЫХ СУДОВ

П.Ю. Петров, *начальник отдела гражданского судостроения ООО «Винета», контакт. тел. + 7(921) 340 4311*

ООО «Винета» – машиностроительное предприятия, работающее на рынке судовой техники более 25 лет. Основным направлением деятельности компании является производство судового оборудования различного назначения. Среди заказчиков – ведущие российские предприятия судостроения, нефте- и газодобычи, атомной промышленности.

Несколько лет назад ООО «Винета» начало развивать новое направление – изготовление и поставку маломерных судов из полимерного композитного материала на основе полиэфирной смолы. Он представляет собой многокомпонентный материал на основе пластика, который армируется различными наполнителями. Этот материал формируется вокруг жесткой матрицы способом инфузии (налива) или послойного формования.

Такой материал обладает рядом преимуществ по сравнению с алюминием, чаще всего используемым для основы при изготовлении маломерных судов. Предел прочности композитного материала составляет до 1800 МПа, тогда как аналогичный показатель у алюминиевого сплава редко достигает 450 МПа. Это значит, что стойкость к механическим воздействиям – ударам, трению, вибрации – у композитного материала значительно выше.

Изделия из композитных материалов на производственной площадке предприятия «Винета»

Другое преимущество данного материал – его удельный вес. При одинаковых размерах корпуса разница в весе между алюминием и композитом может достигать 30–40% в пользу последнего.

При эксплуатации алюминиевого катера необходимо контролировать целостность его лакокрасочного покрытия

Разъездной катер ВИНЕТА 550 пр. 04261 со стационарным дизельным двигателем

Разъездной катер ВИНЕТА 900 пр. 04250 со стационарным дизельным двигателем

Моторный катер ВИНЕТА 505 с подвесным двигателем

Таблица

Характеристики лодок и катеров разработки и производства ООО «Винета»

Модель	Тип лодки/катера	Основные размерения (длина/ширина/высота борта), м	Тип и мощность двигателя, л.с.	Вес в стандарте (без двигателя), кг	Вместимость, число людей/груз, т
ВИНЕТА 190	Весельно-моторная лодка	1,90 × 1,17 × 0,39	Подвесной, 2,2	24	2 / 0,16
ВИНЕТА 315	Моторная лодка	3,15 × 1,35 × 0,54	Подвесной, 15	96	3 / 0,31
ВИНЕТА 505	Моторный катер	5,56 × 2,23 × 0,97	Подвесной, 115	550	8 / 0,85
ВИНЕТА 550	Моторный катер	6,16 × 2,34 × 1,05	Стационарный, 160	1240*	8 / 0,86
ВИНЕТА 900	Моторный катер	9,64 × 3,42 × 1,94	Стационарный, 240–340	3400*	10 / 1,60
МПК 9,6	Катамаран моторный	9,84 × 3,87 × 1,83	Подвесной, 2×200–300	3250	12 / 2,10

* Вес указан с двигателем

Многофункциональная мореходная платформа-катамаран МПК 9,6 пр. 08611

Катера и лодки производства ООО «Винета» в рамках работы центра маломерного и малотоннажного судостроения на XVI Международной выставке «НЕВА 2021»

(ЛКП) во избежание коррозии. Композитные корпуса избавлены от этой проблемы – даже в случае нарушения ЛКП данный материал стоек к коррозии. Композитные корпуса могут без последствий выдерживать длительное воздействие серной кислоты при температуре до 80 °С.

С учетом всех описанных свойств полимерного композита основным является вопрос стоимости корпуса по сравнению с классическим алюминиевым. За последний год цена на металл повысилась на 50–100% по сравнению с предыдущими периодами, что повлекло за собой и рост цен на катера, изготовленные из алюминия. За тот же период цена на полимерные материалы выросла не более чем на 20%, так что сейчас можно говорить о том, что впервые композитные катера могут при прочих равных характеристиках стоить даже дешевле изготовленных из металла.

Сейчас наступил тот самый момент, когда покупка катера с корпусом, выполненным из полимерных материалов, обладающих вышеперечисленными преимуществами, выгодна как никогда.

Компания ООО «Винета» предлагает несколько типоразмеров катеров, востребованных на российском рынке. Катера производятся на собственных мощностях предприятия, расположенных в Ленинградской области. Специалисты и технологи компании, имеющей 25-летний опыт работы на российском рынке, отбирают лучшие компоненты для изготовления полимерных корпусов. Изделия проходят строгий контроль качества на всех этапах производства от формирования корпуса до конечной обстройки судна и проверки его соответствия стандартам качества предприятия.

Собственный инженерный центр предприятия может разработать индивидуальный проект с нуля или на основе одной из базовых моделей для любого заказчика. При покупке катера можно также заказать установку двигателя и системы управления на катер или поручить выбор и монтаж всех необходимых систем специалистам предприятия. ■

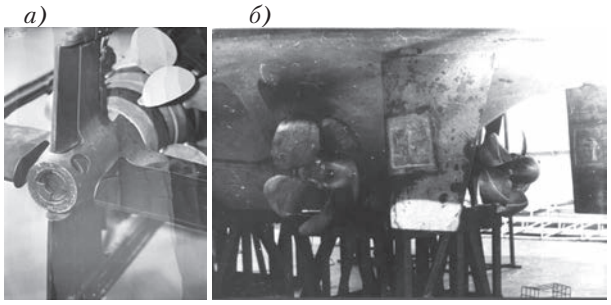
СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РЕВЕРСИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА, ОСНАЩЕННОГО ВИНТОМ ИЗМЕНЯЕМОГО ШАГА*

Л. И. Вишневский, *д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник*
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
А.Р. Тогуняц, *канд. техн. наук, инженер*
АО «Научно-производственное предприятие «Морская техника»,
контакт. тел. (812) 386 6920, (812) 327 2802

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время значительное внимание уделяется винтам изменяемого шага (ВИШ). Отличительная особенность таких движителей – подвижность лопастей на ступице, например, в плоскости диска движителя. Были проведены обширные исследования ВИШ и показано, что они обладают рядом преимуществ перед традиционными гребными винтами фиксированного шага (ВФШ) [8]. Более того, были созданы опытные образцы таких движителей, подтвердившие их положительные качества (рис. 1).

а) *б)*



в)

Рис. 1. ***Морские объекты, оснащенные ВИШ: а – автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), б – трал, в – катер на подводных крыльях***

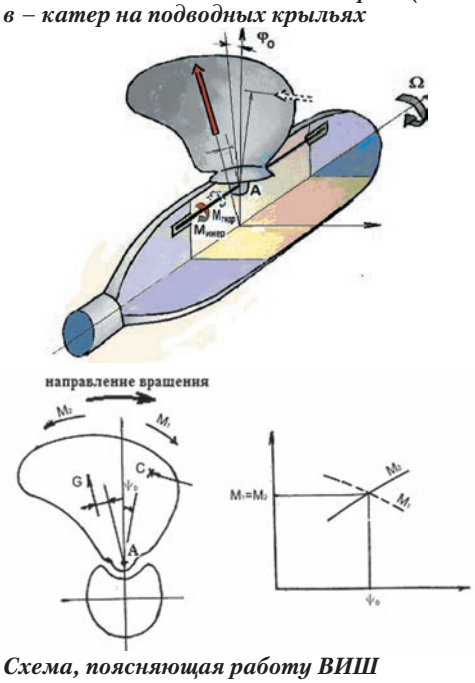


Рис. 2. ***Схема, поясняющая работу ВИШ***

На рис. 2 приведена схема, поясняющая принцип работы ВИШ. Более подробная информация о них содержится в [8]. В настоящей работе приведены результаты исследования реверсивных характеристик судна, оснащенных указанными движителями.

Как известно, реверсивные характеристики судна – одни из основных характеристик, от которых во многом зависит безопасность плавания. Поэтому, как правило,их определение включается в программу сдаточных испытаний судна при передаче его судовладельцу. Оценка этих характеристик является важной на этапе проектирования судна, также она влияет на выбор типа движителя, которым оно будет оснащено [3, 4, 5].

Из всего многообразия видов маневрирования наиболее ответственным является *экстренная (emergency) остановка* судна. Поэтому в настоящей работе рассматриваются сравнительные характеристики указанного режима (Crush stop) при маневрировании судна, оснащенного поочередно ВФШ и ВИШ. Конструктивные особенности последних приведены в [2]. При дальнейшей оценке предполагается, что временные затраты отдачи команд и их исполнение на экстренное торможение у двигателя с ВФШ и двигателя с ВИШ одинаковы. Для достижения поставленной цели процесс экстренной остановки судна рассмотрим без учета взаимодействия движителей с корпусом судна [7]. Разделим указанный сценарий на два периода и введем определенные допущения.

К *первому* – начальному – *периоду* будем относить временной промежуток с момента отключения главного двигателя до остановки вращения винтов и набора ими частоты вращения заднего хода, обеспечивающей переработку мощности торможения;

Ко *второму периоду* отнесем временной промежуток, за который скорость переднего хода судна обратиться в ноль.

Как показали проведенные исследования, длительность первого периода составляет не более 0,4 секунды для широкого класса судов. На этом основании оценку выбега судна можно начинать со второго периода.

ОЦЕНКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ ВТОРОГО ПЕРИОДА

Для расчетной оценки второго периода примем следующее: частота вращения движителей должна соответствовать частоте, при которой перерабатывается мощность, затрачиваемая на экстренную остановку судна [1, 2]. Следует подчеркнуть, в выбранном сценарии частоту вращения гребного винта устанавливают, исходя из реверсируемой величины мощности, а не определяют путем решения уравнения для частоты вращения движителя.

Уравнение движения судна можно записать в виде

$$m\frac{dv}{dt} = -P - cv^2, \qquad (1)$$

где m – масса судна и присоединенная масса воды; v – скорость судна в течение второго периода; P – тормозное усилие движителей на реверсе; c – коэффициент пропорциональности квадратичного сопротивления судна от скорости.

В настоящей статье *не вводится* допущение о постоянстве силы P в процессе торможения, как это имеет место в [1]. Поэтому найдем P как функцию скорости движения судна v. Для этого, задав значение v и ожидаемое значение относительной

* Статья написана на основе доклада, который был прочитан в октябре 2020 г. на международном симпозиуме и посвящен известному судостроителю профессору Сорта (Хорватия).

поступи J, соответствующее режиму движения судна на реверсе, определим по соответствующим диаграммам кривых действия движителя K_Q. Далее по заданной мощности, затрачиваемой на реверсирование N_e, и диаметру гребного винта D определяем частоту вращения n, которая позволяет определить относительную поступь J следующего приближения. Повторяя указанную процедуру, последовательно находим K_Q, n и J. Как показали проведенные расчеты, процесс сходится быстро, обычно хватает двух-трех приближений. По найденному таким образом значению J находим K_m и K_q для выбранного значения скорости v. Тогда тормозное усилие P при заданной мощности N_e и выбранной скорости v определим из выражения

$$P = K_T \rho n^2 D^4 = \frac{K_T}{K_Q^{2/3}} \rho^{1/3} \left(Ne / 2\pi\right)^{2/3} D^{2/3}, \qquad (2)$$

где ρ – плотность воды; N_e – затрачиваемая мощность при реверсе судна; D – диаметр гребного винта; K_m, K_Q – коэффициенты упора и момента движителя.

Выполнив такие расчеты для каждой заданной скорости, а затем построив аппроксимационную зависимость по скорости, получим аналитическую зависимость P от скорости v. Из (2) видно, что тормозное усилие зависит от отношения $\frac{K_T}{K_Q^{2/3}}$ и диаметра гребного винта D в степени 2/3 для рассматриваемой мощности реверсирования N_e. На рис. 3 приведены зависимости $\frac{K_T}{K_Q^{2/3}}$ для N_e = 50, 100 и 200 кВт. Там же представлены и соответствующие аналитические зависимости. Для их построения использованы экспериментальные данные гребных винтов, относящиеся к работе их на реверсивном режиме с A_E/A_0 и Z = 3 и приведенные в [1] (см. рис. 9).

Следует также заметить, что если записать отношение тормозного усилия, создаваемого ВИШ, к тому же усилию, но создаваемому ВФШ, то оно будет зависеть лишь от соотношения диаметров в степени 2/3. Действительно, как показал анализ (рис. 3), отношение $\left(\frac{K_T}{K_Q^{2/3}}\right)_{\text{ВИШ}} \Big/ \left(\frac{K_T}{K_Q^{2/3}}\right)_{\text{ВФШ}}$ близко к 1, построенное для гребных винтов, перерабатывающих различную мощность во всем диапазоне режимов реверсирования.

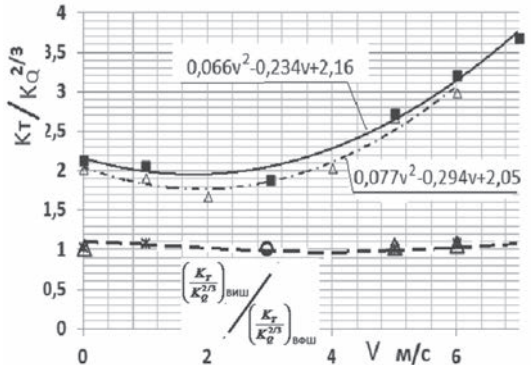


Рис. 3. Аппроксимационные зависимости $K_T/K_Q^{2/3}$ от скорости v:
■ – для гребного винта H/D= 1,0, △ – для гребного винта H/D = 1,4; △○✱ – для гребных винтов, перерабатывающих мощность 200, 100, 50 кВт

Таким образом,

$$\frac{P_{\text{ВИШ}}}{P_{\text{ВФШ}}} = \left(\frac{D_{\text{ВИШ}}}{D_{\text{ВФШ}}}\right)^{2/3}. \qquad (3)$$

Это соотношение показывает, что вследствие конструктивных особенностей ВИШ на режиме реверсирования $D_{\text{ВИШ}} > D_{\text{ВФШ}}$ (рис. 4), поэтому и тормозное усилие ВИШ будет больше, чем то же усилие, создаваемое ВФШ при одинаковой перерабатываемой движителями мощности. Построенные аналитические зависимости позволяют сравнительно легко проинтегрировать уравнение (1) с целью получения сравнительных данных, относящихся к реверсивным характеристикам ВИШ.

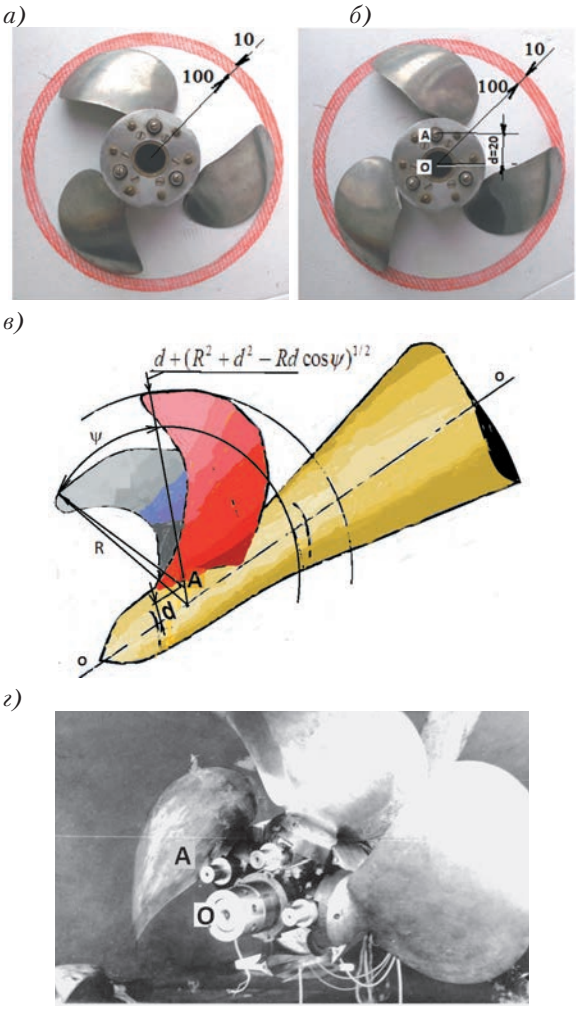


Рис. 4. ***Модель правого трехлопастного ВИШ с лопастями, перемещенными в крайнее левое положение относительно ступицы в плоскости диска движителя (а); та же модель с лопастями в крайнем правом положении (б); эскиз ВИШ с лопастями, установленными в рабочее положение 1, и с лопастями, установленными на ступице в положение при реверсе (в); пятилопастный ВИШ тральщика, прошедший натурную проверку (г)***

ИНТЕГРИРОВАНИЕ УРАВНЕНИЯ (1)

На основании изложенного представим тормозное усилие P в виде квадратичной зависимости

$$P = \alpha v^2 + \beta v + \gamma. \qquad (4)$$

Тогда (1) можно переписать в виде

$$\frac{dv}{-(\alpha + c)v^2 - \beta v - \gamma} = \frac{dt}{m}$$

или

$$\frac{dt}{m}\Big|_{T_1}^{T_2} = -\frac{2.}{\sqrt{4(\alpha+c)\gamma - \beta^2}} \operatorname{arctg} \frac{2(\alpha+c)v + \beta}{\sqrt{4(\alpha+c)\gamma - \beta^2}}\Big|_{v_1}^{v_2}.$$

Принимая $T_1 \sim 0$ вследствие краткосрочности длительности первого периода, а также $v_2 = 0$ (останов судна), получаем решение (1):

для определения длительности второго периода T_2 в виде

$$T_2 = \frac{2m}{\sqrt{4(\propto + c)\gamma - \beta^2}} \operatorname{arctg} \left\{ \frac{V_1 \sqrt{4(\propto + c)\gamma - \beta^2}}{2\gamma + \beta V_1} \right\}, \qquad (5)$$

для определения текущего значения скорости v_2 во втором периоде

$$v_2 = \frac{V_1 \sqrt{4(\propto + c)\gamma - \beta^2} - (2\gamma + \beta V_1) \operatorname{tg} \left\{ \frac{\sqrt{4(\propto + c)\gamma - \beta^2}}{2m} t \right\}}{\sqrt{4(\propto + c)\gamma - \beta^2} + [2(\alpha + c)V_1 + \beta] \operatorname{tg} \left\{ \frac{\sqrt{4(\propto + c)\gamma - \beta^2}}{2m} t \right\}}. \qquad (6)$$

При $\alpha = \beta = 0$ выражения (5) и (6) можно упростить и записать соответственно в виде

$$T_2 = \frac{m}{\sqrt{c\gamma}}\operatorname{arctg}\left\{V_1\sqrt{\frac{c}{\gamma}}\right\}, \qquad (7)$$

$$v_2 = \frac{V_1\sqrt{c\gamma} - \gamma\operatorname{tg}\left\{\frac{\sqrt{c\gamma}}{m}t\right\}}{\sqrt{c\gamma} + cV_1\operatorname{tg}\left\{\frac{\sqrt{c\gamma}}{m}t\right\}}. \qquad (8)$$

Анализ выражений (5), (6) и (7), (8) показал, что основной вклад в T_2 и v_2 вносит коэффициент γ.

Другими словами, основной вклад в названные величины вносит коэффициент γ в выражении для P (см. (4)), т.е. *величина тормозного усилия определяется главным образом швартовным режимом, т.е. при v = 0 (см.* (4)). Для подтверждения сказанного на рис. 5 приведены расчетные зависимости скорости v_2 от времени t. Видно, точные значения (см. (6)) и приближенные (см. (8)) совпадают достаточно хорошо. На рис. 5 эти значения обозначены 1 и 2 соответственно. Это послужило основанием для проведения систематических расчетов по приведенным ниже данным и использовать формулу (10). Вместе с тем приведенные сравнительные данные на рис. 5 подтверждают и то, что высказанное в [1] предположение о возможности при решении уравнения (1) тормозное усилие принимать постоянным, равным на швартовном режиме, *справедливо*. Больше того, приведенные на этом рисунке данные иллюстрируют малое влияние и шагового отношения H/D при постоянной перерабатываемой ими мощности при торможении. Сравним обозначения 1 и 3, относящиеся к шаговому отношению H/D =1,0 и H/D = 1,4 соответственно и представленные на рис. 5. Это дает основание воспользоваться реверсивными диаграммами, полученными для ВФШ и содержащимися в [1].

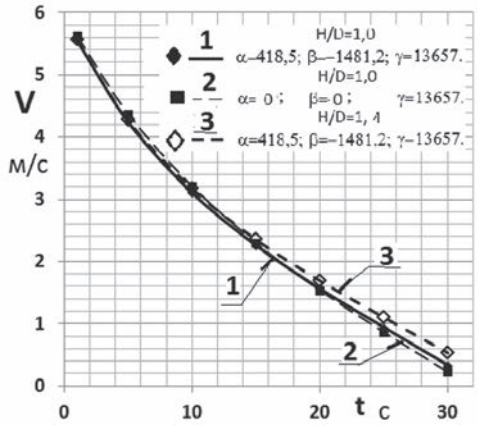


Рис. 5. ***Изменение скорости v_2 со временем*** *t*

Для получения сравнительных данных, относящихся к ВИШ и ВФШ относительно тормозного усилия, времени торможения и выбега судна, воспользуемся приведенными ниже исходными данными и формулами (7) и (8).

Определим путь торможения судна, оснащенного гребным винтом во втором периоде:

$$S = \int_{T_1}^{T_2} V_2 dt = V_1\int_{T_1}^{T_2}\frac{dt}{1+V_1\sqrt{\frac{c}{\gamma}}\operatorname{tg}\left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m}t\right]} - \sqrt{\frac{\gamma}{c}}\int_{T}^{T_2}\frac{\operatorname{tg}\left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m}t\right]}{1+V_1\sqrt{\frac{c}{\gamma}}\operatorname{tg}\left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m}t\right]}.$$

Полагая $\operatorname{tg}\left[\frac{\sqrt{c\gamma}}{m}t\right] \approx \frac{\sqrt{c\gamma}}{m}t$, легко найти искомое выражение для пройденного пути:

$$S \approx V_1\int_{T_1}^{T_2}\frac{dt}{1+\frac{V_1c}{m}t} - \frac{\gamma}{m}\int_{T_1}^{T_2}\frac{tdt}{1+\frac{V_1c}{m}t} = +\frac{m}{c}\left[1+\frac{\gamma}{V_1^2c}\right]\ln\left(1+\frac{V_1c}{m}t\right) - \frac{\gamma}{V_1c}t\Big|_{T_1}^{T_2}. \qquad (9)$$

Составим отношение для путей торможения судна, оснащенного поочередно ВИШ и ВФШ. Опуская промежуточные очевидные выкладки, находим

$$S \approx V_1\int_{T_1}^{T_2}\frac{dt}{1+\frac{V_1c}{m}t} - \frac{\gamma}{m}\int_{T_1}^{T_2}\frac{tdt}{1+\frac{V_1c}{m}t} = \frac{m}{c}\left[1+\frac{\gamma}{V_1^2c}\right]\ln\left(1+\frac{V_1c}{m}t\right) - \frac{\gamma}{V_1c}t\Big|_{T_1}^{T_2}.$$

Принимая во внимание полученные ранее соотношения,

$$\gamma_{ВИШ} = \gamma_{ВФШ}\left(\frac{D_{ВИШ}}{D_{ВФШ}}\right)^{2/3},$$

$$D_{ВИШ} = D_{ВФШ}\left\{\frac{d}{R} + \sqrt[2]{1+\left(\frac{d}{R}\right)^2 - 2\left(\frac{d}{R}\right)\cos\psi}\right\} \qquad (9а)$$

находим

$$\frac{S_{ВИШ}}{S_{ВФШ}} = \left\{\frac{d}{R} + \left[1+\left(\frac{d}{R}\right)^2 - 2\left(\frac{d}{R}\right)\cos\psi\right]^{1/2}\right\}^{2/3}. \qquad (10)$$

Из (10) видно, что тормозной путь судна, оснащенного ВИШ, короче, чем тот же путь судна, оснащенного ВФШ. Это сокращение определяется относительным отстоянием оси поворота лопасти на ступице d/R (точка А на рис. 4, *в*) от оси вращения движителя (точка О на том же рисунке). На рис. 6 представлено процентное сокращение выбега при реверсировании судна с ВИШ по сравнению с ВФШ в зависимости от параметров ψ и d/R. Видно, что оно может быть весьма значительным, если при проектировании ВИШ для данного заказа предусмотреть в конструкции движителя максимально возможные по величине параметры ψ и d/R.

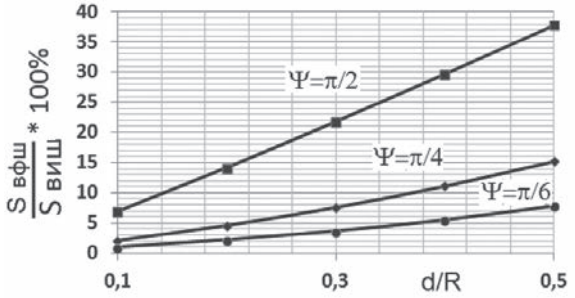


Рис. 6. ***Процентное сокращение выбега при реверсировании судна с ВИШ по сравнению со случаем оснащения его ВФШ в зависимости от параметров ψ и d/R***

Опустив промежуточные выкладки по приведенным ниже исходным данным, выполним систематические расчеты сравнительных характеристик реверсирования морского судна, оснащенного поочередно ВИШ и ВФШ (рис 7 и рис. 8).

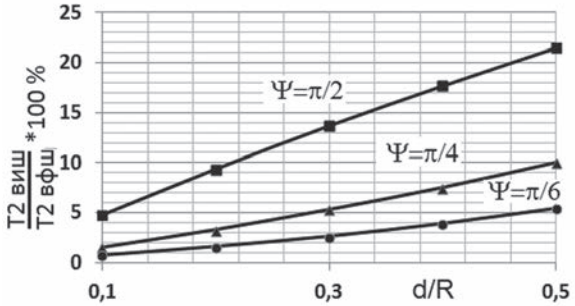


Рис. 7. ***Процентное сокращение времени реверсирования судна с ВИШ по сравнению с ВФШ в зависимости от параметров ψ и d/R***

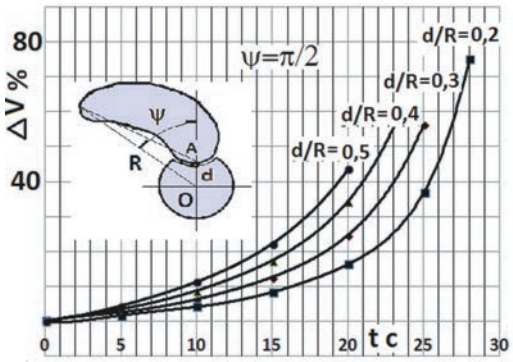


Рис. 8. ***Процентная потеря скорости судна с ВИШ при его экстренном торможении по отношению к той же потери, но для судна с ВФШ***

Из представленных расчетных данных видно, что вследствие конструктивных особенностей ВИШ, обусловленных увеличением его диаметра по сравнению с диаметром ВФШ, тормозное усилие движителя при реверсировании возрастает. Это связано с такими параметрами лопастей ВИШ, как их саблевидность, характеризуемая углом ψ, и относительным отстоянием *d/R* от оси движителя. Увеличение указанных параметров ведет к сокращению выбега и времени торможения судна.

ДАННЫЕ, ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ ОЦЕНКЕ СРАВНИТЕЛЬНЫХ РЕВЕРСИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА

В качестве исходных данных при выполнении расчетных оценок реверса судна, приведенных в настоящей статье, использованы следующие характеристики:

Масса судна вместе с присоединенной массой воды *M*, кг 100 000
Мощность главных двигателей $2\times N_e$, кВт 221
Мощность при торможении $2\times N_{e\,тор.}$, кВт 100
Скорость полного переднего хода v_0, м/с 6
Диаметр ГВ, м 1
Сопротивление на полном ходу *R*, Н 30 000
Частота вращения ГВ при движении судна на полном переднем ходу, $с^{-1}$ 10

Следует особо отметить, что ВИШ при работе на задний ход обеспечивает жесткую установку лопастей на упорах благодаря своим конструктивным особенностям, и он на этих режимах работает, как ВФШ.

Для оценки времени первого периода использовалась известная приближенная формула для расчета момента инерции ГВ:

$$J_1 = 28\cdot 10^5 \cdot \gamma \cdot D^5 \cdot k_v \cdot \frac{A_E}{A_0}\left(\frac{A_E}{A_0}+3\right),$$

где γ – удельный вес материала гребного винта; *D* – диаметр ГВ; A_E/A_0 – дисковое отношение ГВ; k_v – коэффициент, учитывающий массу винта за счет присоединенной массы.

При проведении расчетов наряду с вышеприведенными значениями характеристик рассчитываемого малотоннажного судна были приняты следующие данные: J =39 кгм^2; n_0 = 10 $с^{-1}$; ρ = 1000 кг/м^3; D =1,1 м; v_0 = 6 м/с; K_Q = 0,04; λ = 0,7. Гидродинамические характеристики на реверсивных режимах работы были заимствованы из [1] и приведены на рис. 9.

$$H/D = 1{,}0;\ A_E/A_0 = 0{,}8;\ Z = 3.$$

Из представленных результатов видно, что наиболее эффективное торможение судна осуществляется ВИШ. Он за счет перекладки лопастей при реверсировании перемещается

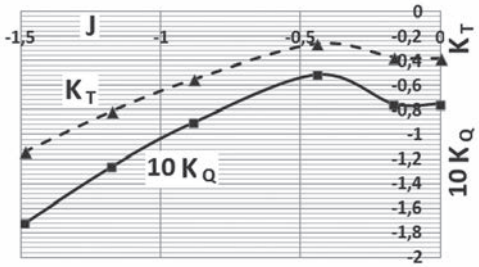


Рис. 9. ***Кривые действия гребного винта, заимствованные из [1]***

на увеличенный диаметр, вызывая большее тормозное усилие, и на этом режиме работает, как ВФШ с бóльшим диаметром по сравнению с ВФШ, спроектированным на ту же скорость полного хода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Давая оценку реверсивной характеристике судна, оснащенного рассмотренным движителем, можно утверждать, что ВИШ предпочтительнее при экстренном торможении судна по сравнению с таким же судном, но оборудованным ВФШ. Как известно, ВИШ наряду с приспособляемостью к различным условиям плавания судна, в результате которой более эффективно перерабатывается мощность, будет обеспечивать еще и более безопасную эксплуатацию. Такое положение дел обусловлено конструктивной особенностью ВИШ, у которого лопасти устанавливаются жестко в положение на ступице в процессе реверса, обеспечивая движителю бóльший диаметр, чем у ВФШ.

Получение максимально возможного сокращения выбега судна с ВИШ при реверсе зависит от конструктивных параметров движителя, в частности, от отстояния осей поворота лопастей относительно ступицы от оси вращения движителя. К сказанному следует добавить и то, что меньшая величина выбега тральщика с ВИШ визуально наблюдалась в ходе его сравнительных натурных испытаний, проходивших в конце прошлого века. В ходе этих испытаний в качестве ВФШ использовались ВИШ с закрепленными неподвижно на ступице лопастями в конструктивном положении. Фотография натурного ВИШ, прошедшего натурную проверку, представлена на рис. 4, *г*.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Басин А.М., Миниович И.Я.* Теория и расчет гребных винтов. – Л.: Судпромгиз, 1963.
2. *Вишневский Л.И., Тогуняц А.Р.* Корабельные лопастные движители, новые технические решения, результаты исследования. – СПб.: Судостроение, 2012.
3. *Бискуп Б.А., Бушковский В.А.* Оценка прочности гребных винтов с откидкой контура лопасти на режимах реверса // Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 1998. – Вып. 8(292). – С. 60 – 67.
4. *Яковлев А.Ю., Васильев Ю.М.* Метод расчета экстренного торможения судна с помощью нескольких движителей различных типов // Тр. Крыловского ГНЦ. – 2015. – Вып. 90 (374).– С. 27 – 38.
5. *Яковлев А.Ю.* Численное моделирование и проектирование новых типов движителей// Тр. Крыловского ГНЦ. – 2019. – Вып. 387. – С. 32–50 .
6. *Бронштейн Н.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. – М.: Наука,1964.
7. *Котлович В.М.* К вопросу о квазиреверсивных испытаниях судовых движителей в опытовом бассейне//Тр. Крыловского ГНЦ. – 2019. – Вып. 389. – С. 37 – 48.
8. *Вишневский Л.И., Тогуняц А.Р.* Гидродинамика корабельных лопастных движителей, инновационные решения. – СПб.: Реноме, 2020. ■

ПРОФЕССОР Г.В. ЕГОРОВ: НАУКА И ПРАКТИКА

А.Г. Егоров, *канд. техн. наук, ст. научный сотрудник, «Морское Инженерное Бюро – СПб», контакт. тел. (812) 233 6403, 232 8538*

30 мая 2021 г. не стало Геннадия Вячеславовича Егорова – создателя «Морского Инженерного Бюро», его идеолога и вдохновителя, мотора судостроительной отрасли и просто доброго, жизнерадостного и умного человека. Профессор Г. В. Егоров ушел из жизни на пике своей профессиональной карьеры, в самолете над Нижним Новгородом, над городом, в котором было построено (и строится до сих пор) наибольшее количество судов, спроектированных бюро под его руководством.

Под управлением профессора Г. В. Егорова бюро прошло путь от небольшой фирмы, занимающейся исключительно расчетными задачами по корпусу судна и научными исследованиями по заказу классификационных обществ, до организации, выполняющей практически весь спектр инжиниринговых работ для судоходства и судостроения.

Геннадий Вячеславович родился 23 марта 1966 г. в Одессе, в семье военного моряка, детство провел по месту службы отца – в Вилючинске (Камчатский край).

Там же впервые познакомился с кораблями и судами и пошел в начальную школу. Как вспоминал Геннадий Вячеславович, детское время оставило очень сильный отпечаток на формировании его личности.

К слову, в декабре 2020 г. было сдано в эксплуатацию первое построенное за последние 30 лет на отечественных верфях грузопассажирское судно пр.PV22 «Адмирал Невельской» на 146 каютных пассажиров для Сахалина и Курил [1]. Геннадий Вячеславович очень гордился этим судном, для него оно имело особый смысл – адмирал Геннадий Иванович Невельской был для него кумиром детства, он много читал о нем, к тому же они были тезками,

Общее среднее образование Г. В. Егоров получал уже в Одессе: окончил с отличием школу в 1982 г., планировал поступление в институт в другом городе, но в тот год набора студентов из Одессы не оказалось. Тогда он принял решение поступать в Одесский институт инженеров морского флота на кораблестроительный факультет.

Будучи человеком целеустремленным, с огромнейшей силой воли, Геннадий Вячеславович уже на втором курсе начал совмещать учебу с работой на кафедре строительной механики корабля.

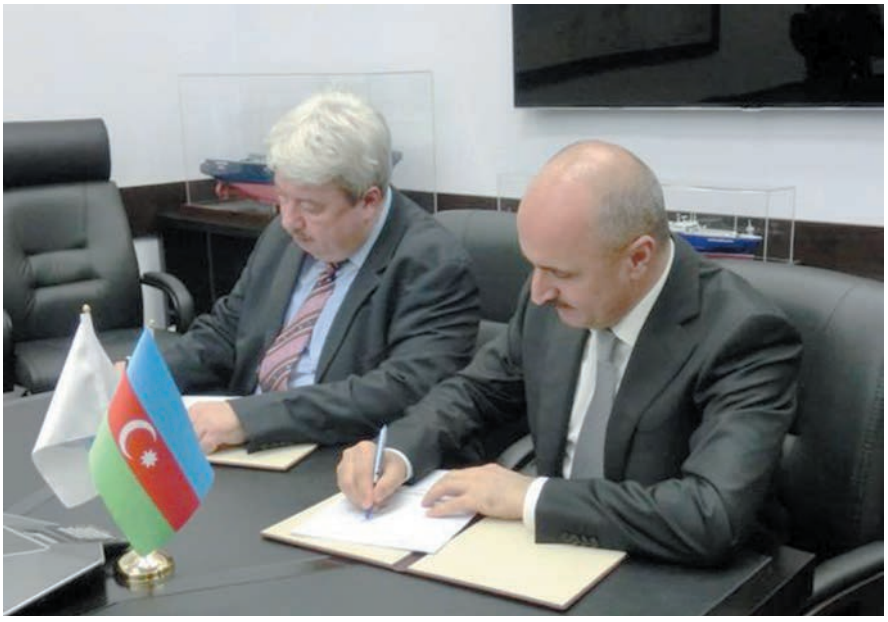
Своим учителем Г.В. Егоров называл профессора Виталия Васильевича Козлякова, выдающегося ученого с мировым именем, последнего представителя старшего поколения советских прочнистов-корабелов, который в 1986–1996 гг. был заведующим кафедрой строительной механики корабля.

Морское грузопассажирское судно «Адмирал Невельской». *Автор фотографии Иван Бородулин*

Г.В. Егоров на кафедре строительной механики корабля ОИИМФ

Профессор В.В. Козляков

Профессор Г.В. Егоров выступает на международной научно-технической конференции «Столетие высшего кораблестроительного образования в Украине», проведенной в рамках празднования 100-летнего юбилея кораблестроительного факультета



Рауф Велиев и Геннадий Егоров за подписанием учредительных документов

Торжественная церемония сдачи в эксплуатацию парома «Азербайджан» на Бакинском заводе 1 марта 2021 г.

Плавпрактику проходил на судах Черноморского пароходства, ходил в рейсы по всему миру.

В 1988 г. с «красным» дипломом завершил обучение в ОИИМФ по специальности «судостроение и судоремонт», защитив дипломный проект на тему: «Разработка программ оптимизации грузового плана т/х «Александр Огнивцев» для персональной ЭВМ». В 1992 г. закончил аспирантуру ОИИМФ на кафедре «Строительная механика корабля», где защитил кандидатскую диссертацию на тему «Разработка методов оптимизации прочностных решений при эксплуатации судов [2].

На защиту кандидатской диссертации были вынесены следующие научные положения:

- методика определения перерезывающих сил и изгибающих моментов на тихой воде в произвольном сечении по длине судна при произвольной посадке и реальной загрузке и наличии минимума исходной информации по корпусу;
- универсальная методика оценки изменений элементов изгиба корпуса судна на тихой воде с применением единичных эпюр соответствующих элементов изгиба;
- оценка влияния гибкости и потери жесткости на посадку и элементы изгиба поврежденного судна на тихой воде;
- методика прогнозирования мореходно-прочностных параметров судна в процессе грузовых операций с заданием шага изменения нагрузки (шага контроля) с учетом фактических производительностей грузовых и балластных операций;
- комплексный подход к борьбе за живучесть с учетом требований обеспечения общей продольной прочности на основе анализа статистики аварийных повреждений корпусов морских судов и исследования факторов, влияющих на несущую способность поврежденного корпуса судна;
- алгоритмы оптимального размещения однородных грузов, оптимальной балластировки судов, спрямления поврежденного судна, расчета снятия с мели крупнотоннажного судна с учетом требований остаточной прочности методами сепарабельного программирования.

Разработаны пакеты программ на ЭВМ: пакет программ «SHIP» расчетного контроля, прогнозирования и оптимизации технических решений при эксплуатации и борьбе за живучесть корпусов морских транспортных судов для бортовых ПЭВМ; пакет программ «Корабелла» (программа расчета усилий и прогибов на тихой воде с учетом гибкости корпуса «СигМент»; программа расчета усилий

на тихой воде при минимуме исходных данных по корпусу «СигМА»; новая версия программы расчета геометрических характеристик неповрежденных и поврежденных поперечных сечений корпусов «ЭльБрус») [2].

Все это свидетельствовало о глубоком понимании проблем.

С 1993 по 1995 г. Г. В. Егоров работал старшим научным сотрудником, преподавателем кафедры «Строительная механика корабля» ОИИМФ. Совмещая работу на кафедре с учебой, он часто ездил в командировки, в судоходные компании, на заводы, где проявился еще один его важный талант — умение общаться с заказчиками, который впоследствии способствовал успешному созданию, развитию и процветанию бюро.

В 1995 г. он учредил «Морское Инженерное Бюро» в Одессе, а в марте 2000 г. аналогичную фирму в Санкт-Петербурге. При этом никогда не забывал и всегда поддерживал родной институт, в 2018 г. организовал совместно с выпускниками кораблестроительного факультета ОИИМФ Ш. Г. Хаджишвили (компания «Рисоил») и С. И. Масловым (компания «Сиго-Марин») празднование столетнего юбилея кораблестроительного факультета [3]. До конца своих дней был главой наблюдательного совета Одесского национального морского университета (ОНМУ, ранее ОИИМФ).

Продвигая работу бюро на международной арене, 5 декабря 2016 г. Геннадий Вячеславович в Баку подписал соглашение о создании совместного с Азербайджанским каспийским морским пароходством предприятие «Каспийское морское инженерное бюро».

Результатами совместной деятельности компаний стали автомобильно-железнодорожно-пассажирские паромы пр. CNF18C, танкеры-химовозы пр. RST12C, танкер-музей пр.HS01.

С первых дней появления «Морского Инженерного Бюро» высокопрофессиональные разработки и нестандартные инженерные решения Геннадия Вячеславовича получали поддержку и признание ведущих специалистов Российского морского регистра судоходства, членом Президиума Научно-технического совета которого он впоследствии стал. Благодаря Геннадию Вячеславовичу, с 1998 г. значительно укрепились рабочие и научные контакты с Российским речным регистром, членом Президиумом его НТС он также был.

Продолжал работать он и с Госфлотнадзором Украины, а затем и с Регистром судоходства Украины как его преемник, который был всецело ориентирован на поддержку отечественных судовладельцев, в том числе и на продление сроков службы существующего флота [4]. Являлся членом НТС Регистра судоходства Украины. Сотрудничество с этими организациями было отмечено различными наградами, знаком «За заслуги» Российского морского регистра судоходства, знаком «Почетный работник Российского речного регистра», знаком «Почетный работник Регистра судоходства Украины».

В первые четыре года своего существования бюро занималось исключи-

Профессор Г.В. Егоров, генеральный директор Бакинского завода Иманверды Хасанов и генеральный директор НИИ «Каспморпроект» и «Каспийского морского инженерного бюро» Ойрад Абдуллаев на борту парома«Азербайджан»

Проекты судов, вошедшие в список «Significant Ships»

Год награждения	Проект	Реализация	Завод-строитель
2007	RSD17	5 сухогрузных судов в серии дедвейтом 6354 т	«Красное Сормово»
	RSD19	4 сухогрузных судна в серии дедвейтом 7004 т	Волгоградский ССЗ
2012	RST27	42 танкера в серии, построенных на разных верфях, дедвейтом 7030 т	«Красное Сормово»
	RSD49	12 сухогрузных судов в серии, построенных на разных верфях, дедвейтом 7143 т, одно судно в постройке на «Лотосе»	Невский ССЗ
2013	RST25	7 танкеров в серии, построенных на разных верфях, дедвейтом 6710 т, два судна в постройке на «Лотосе»	Зеленодольский ССЗ
2013	RST27XC3	42 танкера в серии, построенных на разных верфях, дедвейтом 7030 т	Херсонский ССЗ
2014	RST54	7 комбинированных судов-танкеров-площадок в серии дедвейтом 5745 т	Окская судоверфь
2017	RST27M	5 танкеров-химовозов в серии дедвейтом 7902 т	«Красное Сормово»
2018	RSD59	43 сухогрузных судна в серии, построенных на разных верфях, дедвейтом 8144 т, 20 судов в постройке на «Красном Сормове», Окской судоверфи, Невском ССЗ	«Красное Сормово»
2019	RSD32M	8 судов класса «Азовский пятитысячник» дедвейтом 5157 т на характеристическую осадку в море 4,2 м	Окская судоверфь
2019	RST12C	Танкер-продуктовоз-химовоз дедвейтом 7875 тонн, еще 3 судна строится	Бакинский ССЗ
2020	PV300	Первое построенное за 60 лет на отечественных верфях речное круизное пассажирское судно	«Красное Сормово»

Спуск на воду головного танкера-продуктовоза смешанного плавания «Армада Лидер», первого судна, полностью спроектированного «Морским Инженерным Бюро»

тельно расчетными задачами по корпусу судна и научными исследованиями по заказу классификационных обществ: разрабатывались проекты модернизации, реклассификации, реновации, повышения грузоподъемности и расширения районов плавания, выполнялись расчеты прочности и подкреплений, корректировались Правила по накопленному эксплуатационному опыту и т.п. [5, 6]. Бюро работало на результат.

Результатом плодотворной работы Геннадия Вячеславовича с Украинским дунайским пароходством (на то время председателем его Правления был П. С. Суворов) стало о строительство на Килийском СРЗ несамоходных судов пр.1635 в различных модификациях (1635Т, 1635ТМ – нефтеналивные, 1635ОУ, 1635ОМДЛ, 1635ЗМ, 1635ЗМК – сухогрузные).

Нацеленность на повышение безопасности эксплуатации и увеличение прибыли судовладельца-заказчика, умение общаться, слушать и предлагать эффективные решения, связывать практику, научные обоснования и расчеты Геннадия Вячеславовича привели к знакомству с турецкой компанией «Палмали», которая предложила «Морскому Инженерному Бюро» создать проект нефтеналивного судна смешанного плавания нового поколения – проект 005RST01 [7]. Его разработке предшествовал кропотливый труд по систематизации опыта эксплуатации существующих судов смешанного плавания и ограниченного плавания, работающих в других регионах, выявление основных проблемных вопросов. В августе 2002 г. судостроительная верфь SELAH (Тузла, Турция) сдала «Палмали» головной танкер-продуктовоз смешанного плавания «Армада Лидер».

Особенностью судов типа «Армада» является использование в качестве единых средств движения и управления полноповоротных винто-рулевых колонок, отсутствие продольной переборки в ДП, применение погружных насосов в грузовой и балластной системах, полное отсутствие набора в грузовых танках, развитый тронк, коэффициент полноты 0,90. Большинство из принятых технических решений было впервые реализовано на судах смешанного плавания.

Так началась эпоха проектирования, которая вывела компанию на совершенно иной профессиональный уровень: под руководством Геннадия Вячеславовича было создано более 100 проектов (концептов значительно больше), построено более 420 судов:

- сухогрузных судов речного, смешанного река-море и ограниченных морских районов плавания типа «Пола Макария», «Нева-Лидер», «Герои Сталинграда», «Гейдар Алиев», «Мирзага Халилов», «Каспиан Экспресс», «Азов макс», «Карелия», «Челси», «Хазар», «Надежда», «Танаис», «Святой Георгий», «Оммакс», «Птичь», «Порт Оля», «Леда», «Единый», «Пола» и др.;
- танкеров-продуктовозов, танкеров-химовозов, танкеров-бункеровщиков типа «Лачин», «Балт-Флот», «ВФ Танкер», «Александр Шемагин», «Армада», «Новая Армада», «Астон», «Палойл», «Роскем», «Казань», «Экомаринер», «Рассвет», «МН», «Белмакс», «Святой князь Владимир», «Марлин», «Глостер» и др.;
- морских сухогрузных судов неограниченного района плавания типа «EMI Proud», «Аметист», «Спарта», «Саксона», «Скала», «Eren-C», «Кая Пионер»;
- многофункциональных ледоколов-снабженцев мощностью 22 МВт класса Icebreaker 8 типа «Александр Санников», многофункциональных аварийно-спасательных судов-ледоколов типа «Берингов Пролив» мощностью 7 МВт с классом Icebreaker 6, многофункциональных аварийно-спасательных судов арктического плавания типа «Спасатель Карев» мощностью 4 МВт с классом Arc5, многофункциональных морских водолазных судов типа «Стольный град Ярославль»;
- больших кормовых морозильных траулеров типа «Баренцево море»;
- краболовов-процессоров типа «Зенит» и «Арктур»;
- буксиров, в том числе мелкосидящих ледокольных буксиров типа «Портовый», транспортных буксиров-снабженцев для Каспия типа «Феникс», пожарных буксиров типа «Пенай», буксиров-кантовщиков типа «Бульбаш»;
- железнодорожных паромов типа «Петровск», «Скиф», «Авангард», «Балтийск», «Славянин» и «Ulfat»;
- автомобильно-пассажирских паромов и железнодорожно-автомобильных-пассажирских паромов типа «Азербайджан», морских грузопассажирских судов типа «Адмирал Невельской»;
- комбинированных танкеров-площадок типа «Балт-Флот»;
- морских балкеров типа «Грумант», «OBAHAN-C» и «BEHCET-C»;
- накатных судов снабжения для Камчатки типа «Сосновка» и морских сухогрузных судов-площадок типа «Андрей Артеменко»;
- морских судов для перевозки скота;
- многофункциональных лоцмейстерских (обстановочных) судов типа «Дмитрий Сироткин», «Ладожский», «Виктор Кусков»;
- речных экологических судов типа «Эколог-1»;
- грунтоотвозных самораскрывающихся шаланд типа «КШ-1»;
- многофункциональный аварийно-спасательный катамаран типа «Игорь Ильин»;
- газовоз типа «Булмаркет»;
- музей-судно типа «Сураханы»;
- речных пассажирских круизных судов «Александр Грин», «Штандарт», «Мустай Карим»;
- прогулочных и служебно-разъездных судов типа «Империя», «Сочи», «Нева», «Барс», «Кавказ»;
- вертолетных площадок, плавучих причалов и специальных понтонов.

Продолжают строить суда, в которые профессор Г. В. Егоров заложил свои идеи:

- 2 железнодорожных парома-газохода для Балтийского моря для ли-

нии Усть-Луга—Балтийск проекта CNF19M;
- железнодорожно-автомобильный-пассажирский паром для Каспийского моря проекта CNF18C;
- 2 автомобильно-железнодорожных пассажирских парома с ледовой категорией Arc5 для паромной линии Ванино–Холмск проекта CNF11CPD;
- грузопассажирское судно пассажировместимостью 36 человек и дедвейтом около 1350 т для обеспечения сообщения Командорских островов и Северо-Курильска с Петропавловском-Камчатским проекта PV24;
- 3 танкера-продуктовоза-химовоза проекта RST12C для Каспийского моря;
- круизное пассажирское судно смешанного река-море плавания вместимостью 310 пассажиров проекта PV300VD;
- 3 многофункциональных аварийно-спасательных судна;
- большие морозильные траулеры проектов КМТ01, КМТ02, СТ-192;
- краболовные суда-процессоры проектов КСП01, КСП02;
- 2 лоцмейстерских судна ледового класса для проведения работ на акватории портов Северного морского пути проекта BLV03,
- а также многие другие суда, включая современные морские и смешанного река-море плавания сухогрузные и нефтеналивные суда.

Многие из реализованных под руководством Геннадия Вячеславовича проектов были высоко оценены на международном уровне. Так, в список «Significant Ships» (в число 50 лучших судов года) Британского Королевского общества корабельных инженеров RINA попал целый ряд проектов.

Фактически наиболее заметным явлением в отечественной водно-транспортной отрасли XXI в. является массовая постройка необычных для всей практики мирового судостроения «сверхполных» танкеров смешанного плавания пр. RST27, созданных на их базе комбинированных судов (танкеров-площадок) пр. RST54, танкеров-химовозов пр. RST12C и пр. RST27M, сухогрузных судов пр. RSD59 с коэффициентом общей полноты 0,932.

Однако не только увеличенный коэффициент полноты – особенность этого нового поколения танкеров и сухогрузов, но и ряд других принципиально важных характеристик, также достигнутых под руководством проф. Г. В. Егорова в 2001–2021 гг., в той или иной форме использованы в научных исследованиях и в новых концептах: обоснование главных размерений, выбора формы носовой и кормовой оконечностей,

Г.В. Егоров на спуске на воду первого «сверхполного» танкера пр. RST27 на «Красном Сормово», 17 февраля 2012 г.

Г.В. Егоров в числе участников спуска на воду сухогрузного судна смешанного плавания пр. RSD59 на Окской судоверфи, 26 мая 2021 г.

Пассажирское судно пр. PV300 «Мустай Карим» проходит под разведенными мостами на Неве в Санкт-Петербурге с пассажирами на борту. *Автор фотографии Александр Соснин*

Сухогрузное судно «Челси 3» пр.005RSD06.01 в процессе конверсии в 2005 г.

Команда, спасавшая «Делфи», после завершения операции

Г.В. Егоров на защите докторской диссертации в Национальном университете кораблестроения в 2005 г.

количества и типа движителей, способов формирования конструкции, особенностей архитектуры, снижения надводного габарита, нестандартного объединения функций судов, расширения типов предполагаемых к перевозке грузов и т.п. Именно системный характер концептуального проектирования позволил достичь такого заметного практического выхода [8–16].

Полученные в это время теоретические результаты позволили бюро в 2011 г. предложить экспертной международной транспортной группе UCL Holding, работавшей под руководством Ришата Багаутдинова, концепт танкера смешанного плавания «Волго-Дон макс» класса пр.RST27 типа «ВФ танкер» со «сверхполными» обводами, с коэффициентом общей полноты 0,932. Этот танкер, сохраняя по району плавания класс R2 и возможность круглогодичной эксплуатации, как у танкера типа «Армада», получил существенно увеличенную грузоподъемность в реке: дедвейт при осадке 3,60 м — 5420 т (против 4700 т танкера пр. RST22 и старых судов «Волгонефть»), что сделало его уникальным речным судном при дедвейте в море 7000 т, как у универсальных танкеров проектов RST22, RST22M более раннего поколения.

Таким образом, в современном отечественном гражданском судостроении научный результат был получен и до появления конкретного заказа на постройку, а затем вполне успешно реализован в виде большой серии судов. И это было не гениальное одномоментное предвидение, а вполне классическое научное исследование, с получением промежуточных выводов на каждом этапе работы.

И такие системные исследования были выполнены под руководством Геннадия Вячеславовича для разных типов судов, спроектированы целые линейки служебно-вспомогательных и технических, спасательных, пассажирских, рыбопромысловых судов и грузовых и грузопассажирских паромов нового поколения [17–25]. Большинство проектов реализовано на практике, по каждому из которых им был выполнен колоссальный объем работ при формировании концепции. Особое внимание профессор Г. В. Егоров уделял линейке пассажирских судов, практическими результатами реализации которой очень гордился — пассажирские суда проектов PV08, PV09, PV300, PV300VD.

Отдельно следует отметить вклад Геннадия Вячеславовича не только в новое судостроение, но и в поддержку существующего флота. Продолжая работы по модернизации, переоборудованию, реновации, повышению грузоподъемности, начатые в 1995 г., он предложил новый подход к сохранению флота:

конверсии судов, строительство судов с использованием элементов судов-доноров, которые нашли свой отклик в классификационных обществах [26–35]. Благодаря этому подходу, в тесном взаимодействии с РРР (на тот момент, генеральным директором был Н. А. Ефремов) и РУ были построены сухогрузные суда типа «Челси» и других типов, железнодорожные паромы, нефтеналивные суда, пассажирские суда.

В 2006 г. Геннадий Вячеславович создал службу поддержки борьбы за живучесть (Emergency Response Service) — ERS MEB, которая теперь имеет в своем распоряжении программное обеспечение, позволяющее выполнять расчеты аварийной остойчивости и остаточной прочности, оценивать возможный разлив нефти при столкновениях, посадках на мель, конструктивных разрушениях, пожарах, взрывах и др. подобных ситуациях, когда происходит аварийное изменение нагрузки и (или) несущей способности корпуса судна.

Помимо обслуживания танкеров дедвейтом 5000 т и более, Геннадий Вячеславович успешно руководил расчетами, необходимыми для проведения большого количества аварийно-спасательных операций: массовая трагедия в Керченском проливе 11 ноября 2007 г. с судами смешанного плавания из-за шторма, посадка на мель с водотечностью судна «Palmali Discovery» 3 июня 2010 г., катастрофа с «Булгарией» 11 июля 2011 г., уникальная судоподъемная операция по одновременному подъему затонувших плавдока № 154 и танкера «Волгонефть-263» на Ильичевском СРЗ 8 сентября 2011 г., спасение танкера «Григорий Бугров» с 6138 т мазута на борту с затоплением машинного отделения 13 октября 2011 г., снятие с мели и затем обеспечение перехода железнодорожного парома «Феруз» 8–9 февраля 2012 г. и многие-многие другие.

Самой яркой спасательной операцией можно назвать операцию по спасению и подъему на берег танкера-бункеровщика «Делфи» в августе-сентябре 2020 г., в которой Геннадий Вячеславович принимал непосредственное участие, обеспечивая расчетную инженерную поддержку по приглашению и просьбе Ю. П. Губанкова (президент «Бруклин-Киев») [36]. За участие в этой операции Г. В. Егоров был награжден почетным знаком Одесского городского главы «Благодарность».

Результатом активной научной деятельности стала защита докторской диссертации в 2005 г. на тему «Методология обеспечения надежности и безопасности корпусов судов ограниченных районов плавания» [37].

Лауреаты Государственной премии Украины 2011 г. за создание нового поколения универсальных транспортных судов и средств океанотехники

Сотрудники «Морского Инженерного Бюро» во главе с профессором Г.В. Егоровым на 20-м Конгрессе ISSC, 2018 г.

Одна из открытых лекций профессора Г.В. Егорова в Волжском государственном университете водного транспорта, Нижний Новгород, 2020 г.

В рамках исследования решались следующие задачи:

- анализ условий эксплуатации и систематизация внешних воздействий на корпуса судов смешанного плавания;
- разработка методов оценки риска нарушения надежности корпусов судов смешанного плавания с выявлением основных опасностей, требующих корректировки действующих нормативных требований к прочности и надежности корпусов, в том числе в ранее не рассматриваемых состояниях;
- разработка норм и методов расчета и контроля прочности корпусов судов смешанного плавания на стадии проектирования и при анализе фактических износов и деформаций, создании правил классификационных обществ;
- разработка современной методологии проектирования судов смешанного плавания, включая выбор главных характеристик;
- разработка методологии обоснования обновления, конверсии и модернизации судов как способов продления срока службы судов.

Практическое значение диссертации состояло в применении ее результатов при проектировании судов смешанного и ограниченного района плавания нового поколения и создания разделов правил и нормативных документов РС, РСУ, РРР [37].

С 2008 г. Г. В. Егоров стал профессором кафедры теории и проектирования судов Национального университета кораблестроения, был академиком Транспортной академии и академиком Академии наук судостроения Украины. В 2011 г. ему за создание нового поколения универсальных транспортных судов и средств океанотехники присуждена Государственная премия Украины [38]. С 2011 г. работал в составе экспертного совета по машиноведению и машиностроению ВАК Украины.

Провел огромное количество лекций, уроков, вебинаров по актуальным вопросам судоходства и судостроения как для профессиональной аудитории, так и для студентов и даже для школьников «Что нам стоит судно построить. Судно город в городе». Геннадий Вячеславович всегда очень трепетно относился к молодым кадрам. Большинство сотрудников бюро начали свой трудовой путь, будучи студентами.

Г. В. Егоров больше внимание уделял молодежи, всегда всем старался помочь, подсказать, посоветовать. Помимо полного погружения в судостроение и судоходство Геннадий Вячеславович увлекался историей, религией: мог часами читать лекции о древних цивилизациях, дискутировать на различные религиозные темы.

Г.В. Егоров на борту танкера-бункеровщика-эколога «Георгий Москалев», 29 мая 2021 г.

Г. В. Егоров принимал активное участие в работах международных конференций и конгрессов. Основной результат такого общения — обмен информацией о последних разработках в кораблестроении и мировое признание. Геннадий Вячеславович был Почетным членом Британского Королевского общества корабельных инженеров (FRINA) и членом Американского общества кораблестроителей и морских инженеров (SNAME). В рамках Международного Конгресса по конструкции корпусов судов и морских сооружений ISSC работал более 20 лет [40–45].

Целью конгрессов ISSC и их комитетов является рассмотрение исследований по различным научным направлениям, формирование обобщенной оценки в их трактовках, распространение результатов последних достижений среди мировой общественности; формирование предложений и мер по уточнению расчетных методик, правил классификационных обществ, нормативов IMO и других международных организаций, связанных с созданием судов и средств океанотехники, а также разработка таких общепризнанных методик для применения на практике.

В 2009 г. профессор Г. В. Егоров издал уникальную монографию «Либерти» — значит свобода», посвященную истории проектирования в США и эксплуатации в СССР сухогрузных судов типа «Либерти» — самой массовой в мировой истории серии судов [39]. Материалы для книги собирал лично, большую часть из которых удалось отыскать во время командировок в США в 2000–2008 гг.

Профессор Геннадий Вячеславович, казалось бы, достиг всех возможных высот, можно успокоиться, но нет. В свою последнюю командировку в Иркутск Геннадий Вячеславович поехал с целью инспекции уникального танкера-бункеровщика-эколога «Георгий Москалев», построенного в 2020 г. для Байкала по пр. RT37 «Морского Инженерного Бюро», а также подготовки к новому вебинару.

Судостроительные и судоходные отрасли потеряли настоящего профессионала, легендарную личность. Замены нет и не будет, но память о профессоре Геннадии Вячеславовиче Егорове сохранится во всех разработках «Морского Инженерного Бюро».

За 26 лет по проектам руководимого Геннадием Вячеславовичем бюро было построено более 420 судов, огромное количество судов модернизировано и переоборудовано. Написано более 1000 актуальных научных работ. 7 июня 2021 г. руководство судоходной компании «Идель» приняло решение назвать новое многоцелевое сухогрузное судно дедвейтом 8144 т пр.RSD59, заложенное 25 мая 2021 г. на Окской судоверфи, именем Геннадия Егорова. Судно будет отвечать повышенным экологическим требованиям ИМО TIER III (DE-Tier III) по выбросам в атмосферу.

ТРУДЫ Г.В. ЕГОРОВА

1. *Егоров Г.В., Ильницкий И. А., Ярошенко В. П.* Инновационный концепт грузопассажирского судна для Дальнего Востока с арктическим ледовым классом // Судостроение.— 2021.— № 2 — С. 13–24.
2. *Егоров Г. В.* Разработка методов оптимизации прочностных решений при эксплуатации судов: дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук.— Одесса, ОИИМФ, 1993.— 431 с. 3.
3. Сайт Морского Инженерного Бюро – [Электронный ресурс]. URL: http://meb.com.ua/news/news.html?1375 (дата обращения 06.08.2021).
4. *Егоров Г. В.* Модернизация как способ продления срока службы и обеспечения безопасной эксплуатации существующих судов // Вестник ОГМУ.— 2001.— Вып. 6.— С. 46–61.
5. *Егоров Г. В.* Методические указания по

разработке инструкций по загрузке, буклетов по перевозке незерновых навалочных грузов и приборов контроля загрузки морских судов.— Сб. нормативно-методических материалов.— Кн. девятая./ Российский морской регистр судоходства.— СПб., 2000.— 35 с.
6. *Егоров Г. В.* Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания (для Дунайского бассейна)/ Российский морской регистр судоходства.— СПб., 2001.— 404 с.
7. *Егоров Г. В.* Танкер смешанного река-море плавания дедвейтом 6440 тонн «Армада Лидер» с винто-рулевыми колонками // Вестник ОНМУ.— 2003.— Вып. 12.— С. 3–19.
8. *Егоров Г. В.* Проектирование и постройка коастеров и судов смешанного плавания.— Одесса: Изд-во журнала «Судостроение и судоремонт», 2008.— 128 с.
9. *Егоров Г. В.* Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска.— СПб.: Судостроение, 2007.— 384 с.
10. *Егоров Г. В.* Разработка «линейки» современных проектов морских сухогрузных судов дедвейтом около 10 тыс. тонн и менее.— Сб. докл.в международ. науч.-практ. конфер. в честь 80-летнего юбилея профессора В. В. Козлякова.— Одесса: ОИИМФ. «Судостроение и судоремонт», 2010.— С. 39–48.
11. *Егоров Г.* В. Обновленная линейка многоцелевых сухогрузных судов смешанного плавания и коастеров Морского Инженерного Бюро // Морская Биржа.— 2011.— № 3 (37).— С. 38–42.
12. *Егоров Г.В., Тонюк В. И.* Танкер смешанного река-море плавания дедвейтом в реке/ море 5427/7030 тонн пр. RST27 типа «ВФ танкер» с экстремально полными обводами // Судостроение и судоремонт.— 2013.— № 57–58.— С. 22–35.
13. *Егоров Г. В.* Проектный ряд нефтеналивных судов смешанного река-море плавания // Вестник ОНМУ.— 2014.— Вып. 2 (41).— С. 5–22.
14. *Егоров Г.В., Тонюк В. И.* Серия танкеров-продуктовозов-химовозов класса «Волго-Дон макс» со «сверхполными» обводами пр. RST27M дедвейтом в море/реке 7900/5360 тонн // Судостроение.— 2019.— № 2 — С. 18–24.
15. *Егоров Г.В., Тонюк В. И.* «Сверхполные» многоцелевые сухогрузные суда «Волго-Дон макс» класса проекта RSD59 типа «Пола Макария» // Морской вестник.— 2018.— № 4 (68) — С. 17–27.
16. *Егоров Г.В., Егоров А. Г.* Основные решения нового поколения «сверхполных» грузовых судов смешанного река-море и внутреннего плавания// Судостроение.— 2018.— № 4.— С. 18–24.
17. *Егоров Г.В., Автутов Н. В., Черников Д. В.* «Линейка» служебно-вспомогательных и технических судов нового поколения // Вестник ОНМУ.— 2017.— Вып. 1 (50).— С. 26–54.
18. *Егоров Г.В., Ильницкий И. А., Тонюк В. И., Автутов Н. В., Черников Д. В.* Линейка многофункциональных спасательных судов Морского Инженерного Бюро: опыт проектирования, постройки и эксплуатации.— Тр. НТК по СМК, посвященной памяти д-ра тех. наук, проф. О. М. Палия.— СПб: Крыловский гос. науч. центр, 2019.— С. 111–112.
19. *Егоров Г.* В. Обоснование «линейки» многофункциональных аварийно-спасательных судов для работы в прибрежных морях России // Морские инновационные технологии.— Тр. Мор. гос. ун-та им. адм. Г. И. Невельского, 2015.— Вып.3(29).— Т. 1.— С. 28–44.
20. *Егоров Г.В., Ильницкий И. А., Тонюк В. И., Калугин Я. В., Егоров А. Г.* Новые суда и паромы для обеспечения линейных перевозок пассажиров по водным коммуникациям // Вестник ОНМУ.— 2016.— Вып. 3 (49).— С. 45–69.
21. *Егоров Г.В.* О новой концепции развития пассажирского судостроения // Реки России. Национальный туристский форум: Сб. мат-лов.— Завидово,2016, с. 110–120.
22. *Егоров Г.В.* «Линейка» грузовых и грузопассажирских паромов для Черного моря // Морская Биржа.— 2014.— № 1 (47).— С. 14–27.
23. *Егоров А.Г., Черников Д. В.* Анализ и перспективы российских паромных линий Балтийского моря // Труды Крыловского гос. науч. центра.— 2020.— Спец. выпуск № 2.— С. 187–192.
24. *Егоров Г.В., Анисимов К. О.* Анализ и перспективы международных железнодорожных и автомобильных паромных линий Каспийского бассейна.— Тр. Крыловского гос. науч. центра.— 2020.— Спец. выпуск № 2.— С. 199–204.
25. *Ильницкий И.А., Тонюк В. И.* Анализ и перспективы паромных и грузопассажирских сообщений на российском Дальнем Востоке//Тр. Крыловского науч. центра.-2020.— Спец.выпуск№ 2. С. 205–216.
26. *Ефремов Н.А., Егоров Г. В.* Как в условиях ограниченных ресурсов сохранить отечественный флот//Речной транспорт.— 2007.— 32 с.
27. *Ефремов Н.А., Егоров Г. В.* Опыт строительства судов с использованием элементов эксплуатировавшегося флота // Речной транспорт.— 2005.— 25 с.
28. *Севрюков В.В., Автутов Н. В., Белега О. В., Билокурец А. А., Егоров Г. В., Ильницкий И. А., Махек И. И., Онищенко И. В., Соловьев А.* А. Правила по строительству морских судов с использованием элементов эксплуатировавшихся судов-доноров / Под ред. В. В. Севрюкова.— Киев: РУ, 2006.— 45 с.
29. *Егоров Г.В., Автутов Н. В.* Создание черноморских железнодорожных паромов с применением элементов существующих судов // Вестник ОНМУ.— 2007.— Вып. 23.— С. 52–67.
30. *Егоров Г.В., Автутов Н. В.* Общие подходы к строительству судов с использованием элементов судов-доноров // Сб. науч. тр.НУК.— Николаев: НУК, 2007.— № 5.— С. 17–24.
31. *Егоров Г.В., Автутов Н. В.* Сухогрузные суда смешанного плавания серии «Челси», построенные с использованием элементов судов-доноров // Вестник ОНМУ.— 2009.— Вып. 26.— С. 5–18.
32. *Егоров Г.В., Ефремов Н.* А. Что такое «конверсия» судов? // Морская Биржа.— 2011.— № 2 (36).— С. 18–27.
33. *Анисимов К.О., Егоров Г. В., Ефремов Н. А.* Строительство новых судов с использованием элементов судов-доноров — реальный путь сохранения российских речных круизов // Речной транспорт (XXI век).— 2012.— № 4.— С. 51–62.
34. *Егоров Г.В., Автутов Н. В.* Проектирование танкеров-химовозов-виновозов с применением элементов судов-доноров // Матлы Всеукр. науч.-техн. конфер. с международ участием «Современные технологии проектирования, строительства, эксплуатации и ремонта судов, морских технических средств и инженерных сооружений» — Николаев: НУК, 2016.— С. 4–6.
35. *Егоров Г.В., Егоров А. Г.* Анализ закономерностей списания речных круизных судов и прогноз состава речного флота с определением наиболее востребованных типов судов для конверсии и модернизации // Морской вестник.— 2019.— № 1 (69) — С. 21–27.
36. *Губанков Ю.П., Иванов А. И., Голодницкий А. Г., Егоров Г. В.* Спасаем «Delfi» — уникальная операция // Судоходство.—2020.— № 10 (189).— С. 8–23.
37. *Егоров Г. В.* Методология обеспечения надежности и безопасности корпусов судов ограниченных районов плавания: дисс. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук.— Николаев, НУК, 2004.— 477 с.
38. *Рыжков С.С., Блинцов В. С., Егоров Г. В., Жуков Ю. Д., Квасницкий В. Ф., Кошкин К. В., Кривцун И. В., Некрасов В. А., Севрюков В.В, Солониченко Ю. В.*/Под ред. С. С. Рыжкова. Создание универсальных транспортных судов и средств океанотехники: монография,.— Николаев: Изд. НУК, 2011.— 340 с.
39. *Егоров Г.В.* «Либерти» — значит свобода.— Одесса: Издатель Николай Дубров, 2009.— 196 с.
40. *Bruce G., Duan M., Egorov G. V., Folso R., Fujimoto Y., Garbatov Y., Le Hire J.-C., Shin B.-C., Vardal O. T.* Inspection and Monitoring: Report of Specialist Committee V.2 // Proc. of 15th ISSC — 2003.— San Diego (USA), 2003.— Vol. 2.— P. 37–69.
41. *Cho K-N., Arai M., Basu R., Besse, Birmingham R., Boonstra H., ChenY-Q., Egorov G., Hampshire J. Hung C-F., Leira B., Moore W., Zanic V.* Design Principles and Criteria. Report of Committee IV.1 // Proc. of 16th ISSC-2006.— Southampton (UK), 2006.— Vol. 1.— P. 521–599.
42. *Soares C.G., Basu R., Cerup Simonsen B., Egorov G. V., Hung C. F., Lindstrom P., Samuelides E., Vredeveldt A., Yoshikawa T.* Damage Assessment after accidental events. Report of Committee V.1 // Proc. of 17th ISSC — 2009.— Seoul (Korea), 2009.— Vol. 2.— P. 1–72.
43. *Brunner Edzard, Birmingham Richard W., Byklum Eirik, Chen Yiugqiu, Cheng Yuk F., Dasgupta Jyotisman, Egorov Gennadiy, Juhl Jeppe, Kang Byeoung S., Karr Dale, Kawamura Yasumi, Klanac Alan, O'Neil Sean, Rizzuto Enrico, Teixeira Angelo, Yoshida Koichi.* Design Principles and Criteria. Report of Committee IV.1 // Proc. of 18th ISSC — 2012.— Rostock (Gernany), 2012.— Vol. 1.— P. 435–506.
44. *Rizzuto E., Downes J., Radon M., Egorov G., Kawamura Y., O'Neil S., Skjong R., Teixeira A.* Design Principles and Criteria. Report of Committee IV.1 // Proc. of 19th ISSC — 2015.— Cascais (Portugal), 2015.— Vol. 1.— P. 415–458.
45. *Collette M., Zhan Z., Zhu L., Zanic V., Okada T., Arima T., Skjong R., Jeong K., Egorov G.* Design Principles and Criteria. Report of Committee IV.1 // Proc. of 20th ISSC — 2018.— Liege (Belgium) & Amsterdam (The Netherlands), 2018.— Vol. 1 (Edited by M. L. Kaminski and P. Rigo).— P. 549–607.

ПАМЯТИ Р.А. ШМАКОВА

АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 7506

23 сентября 2021 г. после непродолжительной болезни на 91-м году ушел из жизни старейший работник АО «СПМБМ «Малахит» Радий Анатольевич Шмаков. Всю свою профессиональную жизнь он посвятил укреплению оборонного щита России. Назначенный на должность главного конструктора подводных лодок Министерством судостроительной промышленности в 1976 г., Радий Анатольевич проработал в этой должности 40 лет.

Родился Радий Анатольевич 17 января 1931 г. в Новосибирске, с серебряной медалью окончил школу и поступил в Ленинградский кораблестроительный институт, который окончил с отличием в 1954 г.

После окончания института его направили в конструкторское бюро СКБ-143, имевшее высший «нулевой» гриф секретности. Тогда он еще не знал, что ему предстоит участвовать в создании первой советской подводной лодки «К-3» пр. 627 с ядерной энергетической установкой под руководством выдающегося главного конструктора Владимира Николаевича Перегудова.

Когда наступило время модернизации первой атомной подводной лодки (АПЛ) и строительство серии кораблей пр. 627А, все расчеты по статике, погружению и всплытию, непотопляемости, инструкции на стадиях технического и рабочего проектирования этой АПЛ были подписаны им как начальником сектора проектного отдела СКБ-143. Но главным делом его жизни стала установка и отработка ракетных комплексов для всех подводных лодок.

В 1962 г. Радия Анатольевича назначили главным конструктором по переоборудованию ПЛ пр. 613 в опытовый корабль для проведения летно-конструкторских и государственных испытаний противолодочного ракетного комплекса «Вьюга». Номер проекта получил дополнительную аббревиатуру РВ. В дальнейшем под его руководством было построено несколько опытовых кораблей проектов 633РВ, 633КС, а также наземный стенд 03010. На них были отработаны, проведены государственные испытания и приняты на вооружение ракетные комплексы «Вьюга», «Водопад», «Ветер», «Водопад НК», «Шквал», «Гранат», «Калибр». Установили эти ракетные комплексы на АПЛ 1-го и 2-го поколений.

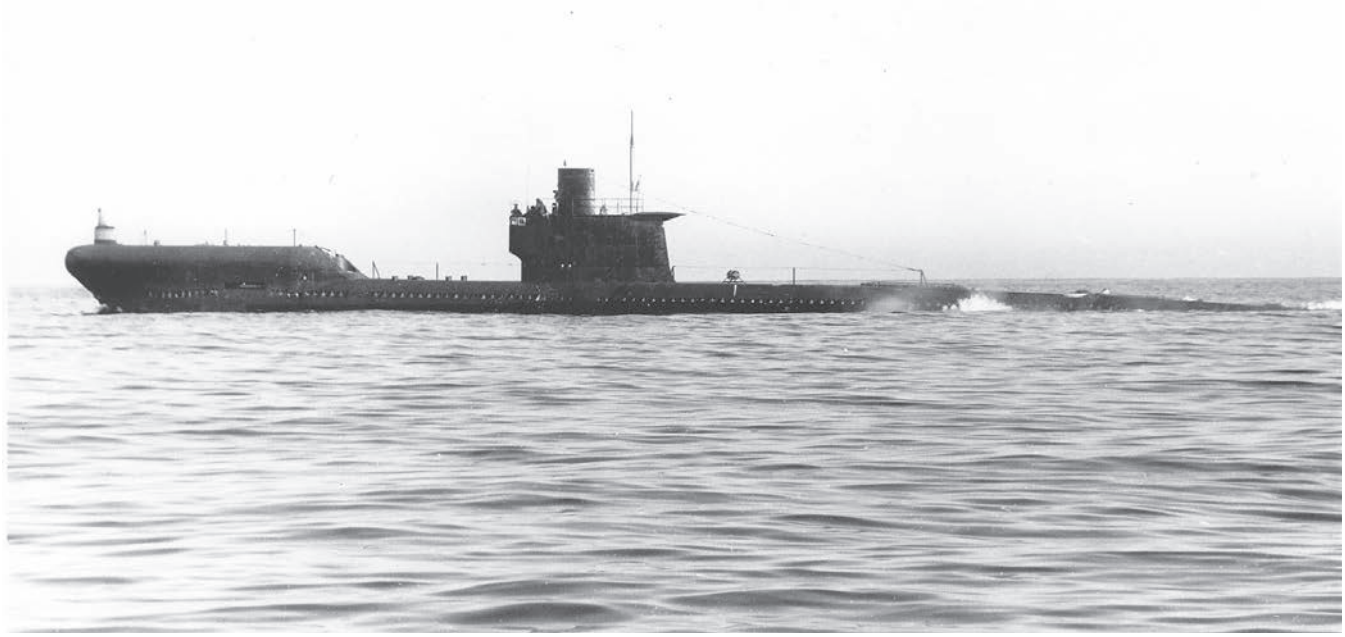
В 1976 г. его назначили главным конструктором по кораблям первого поколения проектов 627, 627А, 645, которые он принял от своих наставников В. Н. Перегудова и А. К. Назарова. В дальнейшем ему были переданы работы над АПЛ второго поколения проектов 661, 705, 705К, 671, 671РТ и 671РТМ Н. Н. Исанина, М. В. Русанова и Г. Н. Чернышёва.

Строительство последних четырех серийных АПЛ пр. 671РТМК в «Ленинградском Адмиралтейском объединении» и их модернизация на СРЗ «Нерпа» осуществлялись под руководством Радия Анатольевича. Некоторые из них до сих пор охраняют рубежи нашей страны.

Родина высоко оценила заслуги Р. А. Шмакова. Он удостоен звания лауреата Государственной премии СССР (1981 г.) и Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники (1997 г.). Награжден орденами Октябрьской революции, Трудового Красного Знамени (дважды) и многими медалями, в том числе мемориальными медалями С. П. Королева, В. П. Макеева, Н. А. Доллежаля, Н. Н. Исанина, Л. В. Люльева.

От всего коллектива Санкт-Петербургского морского бюро машиностроения «Малахит» выражаем глубокие соболезнования семье Радия Анатольевича Шмакова.

Редсовет, редакционная коллегия и редакция журнала «Морской вестник» выражают искренние соболезнования родным и близким Радия Анатольевича Шмакова. ■



СУДОРЕМОНТ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ: ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Г.С. Зверев, *канд. экон. наук, президент НКО «Всероссийская ассоциация рыбохозяйственных предприятий, предпринимателей и экспортёров»,*
А.А. Юртаев, *канд. техн. наук, координатор технической группы НКО «Ассоциация добытчиков минтая»,*
О.С. Портнова, *канд. техн. наук, ст. преподаватель Политехнического института (Школы) ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», контакт. тел. 7 (908) 992 9740, al.yurtaev@mail.ru, olesya.portnova@mail.ru*

Судовой ремонт – это комплекс мероприятий, направленных на поддержание, восстановление и изменение технико-эксплуатационных характеристик судна или его элементов, которые подразделяются на техническое обслуживание, ремонт, модернизацию, переоборудование.

Система планово-предупредительных ремонтов (ППР) – это комплекс организационных и технических мероприятий по уходу, надзору, эксплуатации и ремонту технологического оборудования, направленных на предупреждение преждевременного износа деталей, узлов и механизмов и содержание их в работоспособном состоянии.

Для судов флота рыбной промышленности устанавливаются следующие виды ремонта, входящие в систему ППР: капитальный, средний, межрейсовый, доковый), и не входящие в систему ППР: гарантийный, поддерживающий, аварийный, восстановительный.

Для элементов судна устанавливаются следующие виды ремонта: текущий, средний, капитальный.

Планирование ремонта судов рыбной промышленности осуществляется в соответствии с разработанной для данного судна (типа судна) системой плановых предупредительных ремонтов, системой непрерывного технического обслуживания и ремонта, различных регламентов по обслуживанию и ремонту судового оборудования [1].

Один раз в пять лет судно проходит освидетельствование на класс Регистра, который ежегодно должен подтверждаться. Для благополучного прохождения и подтверждения класса перед освидетельствованием на судне необходимо выполнить все регламентные работы по судовому оборудованию, а также дважды в течение пяти лет между прохождениями освидетельствования пройти регламентный доковый ремонт.

Специфика судоремонта рыболовного флота отлажена таким образом, что многие крупные предприятия и холдинги для средних и межрейсовых ремонтов, а также текущего обслуживания судового оборудования используют собственные ремонтные базы, пирсы и причалы, нанимая судоремонтные бригады для производства работ. Это позволяет в значительной степени снизить расходы за счет экономии по аренде причальных мест, складировании ЗИП, а также сокращает расходы по логистике.

Дважды за пятилетний период между освидетельствованиями на класс, а также перед самим освидетельствованием судно должно пройти докование, что невозможно сделать собственными силами.

Дальневосточный бассейн является основным промысловым бассейном России, где добывается около 70% российских водных биологических ресурсов (ВБР) и сосредоточено более 71% рыбопромыслового флота РФ [2].

Около 65% общей производственной мощности рыбопромыслового флота проходит ремонт и межрейсовое техническое обслуживание в российских портах. Приморский край является центром портовой деятельности и обслуживания флота, на регион приходится 51% обслуживаемых судов. Доля Сахалинской области оценивается в 16%, Камчатского края – в 31%, Хабаровского края и Магаданской области – в 1% каждый.

Основную часть обслуживаемого в России рыбопромыслового флота составляют малотоннажные суда, 90% которых ремонтируется и обслуживается на отечественных мощностях. В сегментах средне- и крупнотоннажных, а также транспортных судов услугами российских поставщиков пользуется не более 49% от общей численности таких судов.

В иностранных портах, преимущественно южнокорейских и китайских, ремонт и обслуживание проходит 35% от общей мощности рыбопромыслового флота Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, но это, как правило, наиболее современные и эффективные суда, принадлежащие крупнейшим рыбопромышленным компаниям.

Из числа судов рыбопромыслового флота, обслуживаемых в иностранных портах, на Республику Корея приходится 75%, на Китай – 17%, на Японию – 8%. Крупнейшим центром обслуживания судов является южнокорейский порт Пусан, который предлагает полный спектр услуг для рыбохозяйственных организаций: прием рыбы, снабжение, обслуживание и ремонт судов. В порту расположены холодильники совокупной мощностью хранения более 1 млн. т. Конкурентными преимуществами порта Пусан по сравнению с российскими портами, помимо большого числа поставщиков услуг, являются минимальное время оформления судов и грузов, высокое качество и предсказуемые сроки обслуживания и ремонта судов [3].

На сегодняшний день на Дальнем Востоке существует ряд крупных судостроительных и судоремонтных предприятий, которые могут выполнить необходимые работы по ремонту и доковому обслуживанию крупнотоннажных и среднетоннажных рыболовных судов. Однако часть из них больше специализируется на военном и гражданском судостроении, что накладывает определенные трудности либо делает невозможным проведение доковых и других видов работ с рыбопромысловыми судами. Это такие предприятия, как ООО «Судостроительный комплекс «Звезда», АО «Восточная верфь», АО «30 СРЗ», ПАО «Амурский судостроительный завод», АО «Хабаровский судостроительный завод», ООО «Сахалинремфлот». Производственные мощности этих предприятий в значительной степени загружены работами для нужд ВПК, а также строительством новейших судов типа «Афромакс», ледоколов «Лидер», серии краболовных судов, ремонтом и обслуживанием плавучих платформ проектов «Сахалин» и т. д.

Доковый ремонт большие и средние рыбопромысловые суда могут пройти на следующих предприятиях: АО «Находкинский СРЗ» (1 док), ООО «Ливадийский ремонтно-судостроительный завод» (1 док), ПАО «Славянский судоремонтный завод» (3 дока), АО «ЦС Дальзавод» (2 дока), АО «Петропавловск-Камчатский судоремонтный завод» (1 док), ОАО «Северо-Восточный ремонтный центр» (3 дока), ЗАО «Судоремсервис» (2 дока малой грузоподъемности). В общей сложности дальневосточные судоремонтные предпри-

ятия имеют в оперативном управлении 12 доков, позволяющих проводить ремонт средне- и крупнотоннажных рыбопромысловых судов.

В России насчитывается более 520 средне- и крупнотоннажных судов, из них 344 среднетоннажных и 93 крупнотоннажных судна работают на Дальнем Востоке (рис. 1, рис. 2). В прибрежном рыболовстве Дальнего Востока дополнительно задействовано 144 ед. малотоннажного флота, а также для транспортировки уловов задействуется 133 транспортных рефрижератора [4].

Учитывая, что дважды в течение пяти лет рыбопромысловые суда (437 ед.) должны проходить регламентный доковый ремонт, ежегодная загрузка дальневосточных судоремонтных предприятий может составлять примерно 174 доковых ремонта.

Промысел ВБР на Дальнем Востоке имеет свою сезонную специфику, так, в январе – апреле проходит охотоморская минтаевая путина (сезон А), на которой задействовано более 90% средне- и крупнотоннажного флота. В июле – августе часть флота выставляется для приемки лососевых. В октябре – декабре идет активный промысел сельди и минтая (сезон Б), а также сардины и скумбрии [5]. Таким образом, оптимальный период проведения ремонтных работ и обслуживания судовых механизмов длится с мая по сентябрь, т. е. составляет пять-шесть месяцев (см. таблицу).

Время докового ремонта в среднем в России может составлять от 30 до 60 суток при минимальных объемах работ и до 120 суток при дополнительных работах и поставках комплектующих. То есть при минимально возможных сроках один док в год может обслужить за сезон до шести рыбопромысловых судов, при максимально возможных сроках – 1,5 рыбопромысловых судна. Таким образом, мощность докового судоремонта на дальневосточных предприятиях составляет от 18 до 72 судов в год, при условии, что все возможные доковые мощности будут направлены на ремонт только рыбопромысловых судов, это составляет от 10 до 40% от годовой потенциальной необходимости в 174 судна. Таким образом, при полной загрузке рыбопромысловыми судами, минимальных сроках выполнения докового ремонта и с учетом фактора сезонности требуется не менее 30 доков.

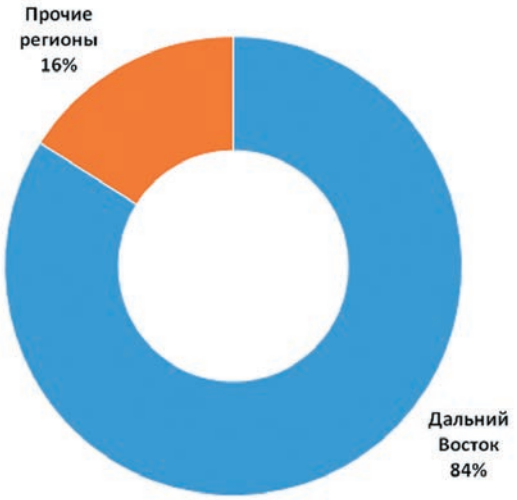


Рис. 1. ***Доля дальневосточного крупнотоннажного и среднетоннажного флота в Российской Федерации***

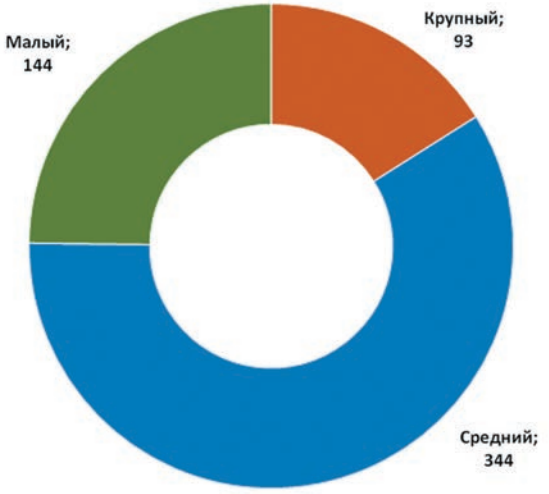


Рис. 2. ***Количественная структура дальневосточного добывающего флота***

В зависимости от состояния судна в регламентном доковом обслуживании и дополнительных работах может участвовать от 40 до 80 человек или в среднем около 50 человек: окраска корпуса – 15 человек, дробеструйная обработка – 5 человек, ремонт арматуры – 10 человек, ремонт подводной части – 10 человек, обслуживание валолинии – 5 человек, логистика – 5 человек. Учитывая, что одна бригада из 50 человек за сезон (май – октябрь) может обслужить до 6 судов, на обслуживание 174 судов в течение 6 месяцев потребуется единовременно задействовать около 1500 человек.

Таблица

Сезонная специфика промысла водных биологических ресурсов на Дальнем Востоке России

Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Минтай, сельдь (Охотское море)										Минтай, сельдь (Охотское море)	
					Лосось (Камчатка, Сахалин)						
					Минтай, сельдь, треска (Берингово море)						
							Сардина иваси, скумбрия (Курилы)				
			Краб (Охотское море)					Краб (Охотское море)			

Низкие доковые мощности – не единственная проблема российского рыбопромыслового судоремонта. Так, при средней стоимости регламентных работ при доковом обслуживании серийного БМРТ в Республике Корея – около 300–700 тыс. долл., сроки работ варьируются от 15 до 35 суток, а при дополнительных работах – не превышают 45 суток. На отечественных предприятиях при стоимости на 20–30% ниже сроки производства минимального набора работ по регламентному обслуживанию могут составлять от 30 до 60 суток, а при дополнительных работах, поставках комплектующих, забракованных во время дефектовки, и иных возможных проблемах сроки ремонтов могут доходить до 120–150 суток. БМРТ за 30 суток способен освоить порядка 3000 т ВБР, что эквивалентно более чем 2,5 млн. долл. (при добыче минтая).

Таким образом, упущенная выгода предприятия в случае длительного ремонта на отечественных верфях может достигать 12,5 млн. долл..

Плохо налаженные снабжение и логистика, низкая квалификация кадров создают дополнительные риски, связанные со срывом сроков судоремонтных работ, что делает обслуживание на отечественных судоремонтных предприятиях неприемлемыми для бизнеса.

Кроме того, при доковании проводится значительный объем работ по общесудовым системам и механизмам, вспомогательному и компрессорному оборудованию, производственным линиям и траловому комплексу. Многие из этих систем обслуживают или контролируют представители фирм – производителей оборудования, большинство которых не имеют представительств на Дальнем Востоке и вообще в России (Brattvaag, Volda, Atlas, Sabroe, Indar, Unisab, Danfoss, Naust Marine и др.), что накладывает дополнительные трудности на прохождение ремонта.

Можно выделить основные системные проблемы российского рыбопромыслового судоремонта, делающие его неприемлемым для бизнеса и препятствующим увеличению количества заказов на судовое обслуживание со стороны рыбопромышленных предприятий, сдерживая его развитие:

- высокий износ основных производственных фондов (низкая производительность труда, частые выходы из строя производственного оборудования, увеличенная энергоемкость, дополнительные непроизводственные потери электро- и теплоэнергии);
- научно-техническое отставание отрасли, старение технологического оборудования (недостаточная автоматизация производственных процессов, медленное внедрение инноваций и новых технологий);
- слабая доковая составляющая судоремонтной базы (ограниченное количество одновременного докового ремонта судов, малое количество доков высокой грузоподъемности);
- сложившийся устойчивый дефицит квалифицированных кадров инженерно-технического профиля и рабочих основных специальностей для судоремонтных предприятий;
- невозможность проведения отдельных узкоспециализированных работ;
- длительные сроки выполнения судоремонтных работ;
- высокая стоимость доставки технологического оборудования, запасных частей, металла для корпусного ремонта;
- длительные сроки доставки российских и импортных запасных частей для ремонта, потребность в которых определилась в процессе дефектации.

Основы, перспективы и задачи развития отечественного судоремонта и судостроения определены «Стратегией развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» [6].

Сложившаяся ситуация в рыбопромысловом судоремонте показывает, что основным условием его успешного и устойчивого развития является системное решение отраслевых проблем не только на уровне хозяйствующих субъектов, но и на государственном уровне.

Состояние судоремонтного комплекса в последние годы находится в поле зрения руководства Российской Федерации как отрасль, отвечающая национальным интересам. В этой связи вопросы повышения эффективности работы судоремонтного и судостроительного комплекса страны и управления рисками его функционирования являются одними из основных государственных задач на ближайшую и долгосрочную перспективу.

Государственная поддержка отечественного судостроения и судоремонта должна быть эффективной. Для этого необходимо реализовать комплекс мер, направленных на модернизацию производства предприятий отрасли и повышение производительности труда; привлечение в отрасль квалифицированных молодых кадров; повышение инвестиционной привлекательности отрасли; внедрение новых технологий в производство; продвижение отечественной продукции судостроения на зарубежные рынки. Это позволит ускорить темпы импортозамещения в отрасли и обеспечить ее долгосрочное развитие в условиях нестабильности мировой экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 57692–2017. Система технического обслуживания и ремонта судов. Термины и определения. Дата введения: 04.01.2018. https://allgosts.ru/01/040/gost_r_57692–2017
2. Научно-практическая конференция на тему: «Правовое обеспечение развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации: прошлое, настоящее, будущее»: К 15-летию принятия Федерального закона «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов». Выступление Председателя Комитета Государственной Думы по аграрным вопросам, академика РАН В. И. Кашина. – https://kprf.ru/dep/gosduma/activities/190634.html
3. Стратегия развития морских терминалов для комплексного обслуживания судов рыбопромыслового флота с учетом береговой логистической инфраструктуры, предназначенной для транспортировки, хранения и дистрибуции рыбной продукции на период до 2030 года. Утв. приказом Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 20 апреля 2017 г. № 189. – https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71568066
4. *Юлия Хазиева*. Нам нужен конкурентоспособный флот на мировом уровне // Корабел.ру. –2020.– №1 (47).
5. Правила рыболовства для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. Утв. приказом Минсельхоза России от 23.05.2019 № 267. – https://base.garant.ru/72261446/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33
6. Стратегия развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года. Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 26 ноября 2019 г. № 2798-р. – https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72972854

АНАЛИЗ ОБОСНОВАННОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИ ОБЛИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОРАБЛЕЙ

А.В. Шляхтенко, *д-р техн. наук, проф., ген. директор,*
И.Г. Захаров, *д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по перспективному проектированию,*
В.В. Барановский, *д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по энергетическим установкам, судовым системам и устройствам,*
АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 373 8300, 369 1233

Начало XXI в. характеризуется интенсивным изменением в военном кораблестроении, кардинально меняется облик надводных кораблей, расширяется спектр решаемых ими задач, приоритетное развитие получают ракетные системы с унифицированными вертикальными пусковыми установками, существенный скачок происходит в развитии радиоэлектронного вооружения и средств радиоэлектронной борьбы [1, 2]. По мере эволюционного развития оружия и вооружения кораблей происходит совершенствование и развитие корабельных тепловых двигателей и энергетических установок (ЭУ), созданных на их основе. У конструкторов происходит переосмысление идеологии обоснования облика ЭУ (т. е. типа, состава и схемного исполнения) и архитектуры ее комплектования при размещении внутри корпуса корабля.

Направленность развития корабельных ЭУ предопределяет в первую очередь достигнутый уровень совершенства корабельных тепловых двигателей в плане термодинамической эффективности, агрегатной мощности, надежности и степени автоматизации. Однако, как показывает многолетний опыт, этот уровень определяется не только характеристиками используемых тепловых двигателей, но и характеристиками схемного исполнения ЭУ. В данном случае подразумевается рациональное сочетание количества используемых в составе ЭУ главных двигателей (как правило, газотурбинных и дизельных), их агрегатной мощности, способов передачи крутящего момента на винт (механический или электрический), а также способов обеспечения работоспособности главных двигателей в составе одного агрегата (совместная или раздельная работа). Все перечисленное выше определяет архитектуру комплектования ЭУ, или ее облик.

Анализируя тенденции развития ЭУ многоцелевых кораблей в последние десятилетия, можно заметить, что их совершенствование происходит в направлении удовлетворения ужесточающихся от поколения к поколению тактико-технических требований к кораблям. Так, например, при неснижающихся требованиях к маневренности и скорости полного хода растут требования к дальности плавания и автономности кораблей: для кораблей класса «фрегат» или «эскадренный миноносец» дальность плавания должна составлять не ниже 7000 миль, хотя в недалеком прошлом она не превышала 5000 миль.

Перспективные многоцелевые корабли проектируют, исходя из условия длительного нахождения на боевой службе в различных регионах Мирового океана (до двух лет) без захода в свою базу приписки [3]. В связи с этим к системам и механизмам ЭУ предъявляются повышенные требования к надежности, живучести, долговечности и ремонтопригодности. Проектанты одной из основных целей ставят доведение коэффициента оперативной готовности до 5000 часов в год (коэффициент оперативного напряжения $K_{он}$ = 0,57) и обеспечение ресурса главных двигателей до проведения капитального ремонта в 30 000 часов. Интервал между доковыми ремонтами определен в пять лет [3]. Весьма серьезно ужесточились требования к акустической скрытности кораблей и плавности изменения хода при выполнении поисковых задач с буксируемой ГАС.

Однако одним из основных требований при развитии и совершенствовании ЭУ остается требование минимизации расхода топлива кораблем в широком диапазоне ходовых режимов. Реализация указанного требования представляет собой сложную оптимизационную задачу при формировании облика ЭУ перспективного корабля.

Специалистами АО «ЦМКБ «Алмаз» при формировании архитектуры ЭУ перспективного корвета пр. 20386 в соответствии лучшими мировыми аналогами было принято решение об его оснащении газотурбинной ЭУ с системой частичного электродвижения. Вместе с тем это решение было новым, инновационным, так как не имеет аналогов внедрения такой системы на боевых кораблях ограниченного водоизмещения.

При обосновании облика ЭУ корвета «Меркурий» бюро приходилось решать несколько оптимизационных, зачастую противоречивых, задач. К ним относятся: обеспечение маневренности и скорости полного хода корабля при минимизации массы и габаритов ЭУ, а также экономичности ЭУ и наибольшей дальности плавания маршевыми ходами, минимизация стоимости постройки корабля при комплектовании ЭУ современными тепловыми двигателями, обеспечение кораблю заданной интенсивности использования (коэффициента оперативного напряжения) при ограниченности ресурса главных двигателей и т. п.

Ниже приводится обоснование технических решений при формировании облика ЭУ корвета «Меркурий»для достижения высокой топливной экономичности и наибольшей дальности плавания. Остальные показатели, такие как маневренность, надежность, скрытность и др., выносятся за рамки рассмотрения в силу ограниченности объема материала.

Как известно, наиболее информативной характеристикой при обосновании экономичности корабельной ЭУ является характеристика удельных расходов топлива входящих в состав ЭУ тепловых двигателей, которая в отличие от часового расхода топлива свидетельствует об эффективности топливопотребления. Ее физический смысл – расход топлива двигателями, затрачиваемый на единицу генерируемой мощности. Понятно, что чем меньше расход топлива, тем более экономичной является ЭУ и тем большая дальность плавания может быть достигнута кораблем.

На рис. 1 и рис. 2 представлены кривые удельных расходов топлива дизель-генераторов ДГАС-1600 с дизелем V12 ДМ-185 и газотурбинных двигателей (ГТД) М90ФР, входящих в состав ГЭУ корвета «Меркурий».

Как следует из анализа рисунков, в силу особенностей конструктивного исполнения и протекающих термодинамических процессов преобразования тепловой энергии сгораемого топлива в механическую работу у газотурбинных и дизельных двигателей характер изменения удельных расходов топлива существенно различается.

Минимальный удельный расход топлива у ГТД наблюдается на номинальной нагрузке, и диапазон его изменения весьма широкий, в пределах от 237 до 700 г/(кВт·ч) и более

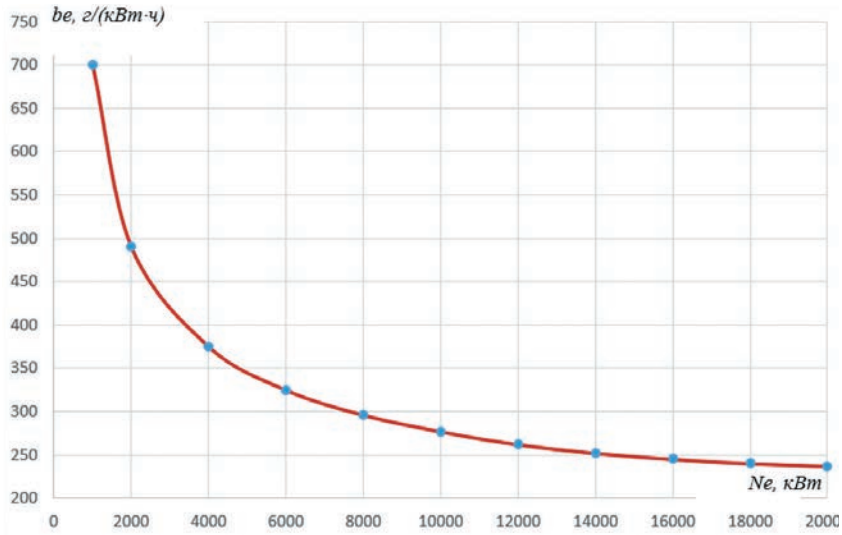


Рис.1. ***Изменение удельного расхода топлива дизельного двигателя 12ДМ-185 производства ООО «Уральский дизель-моторный завод»***

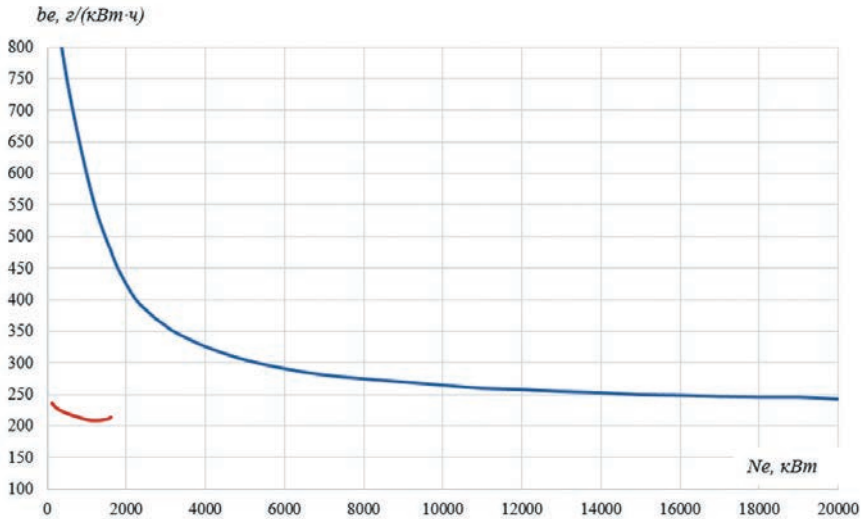


Рис. 2. ***Изменение удельного расхода топлива ГТД М90ФР в зависимости от нагрузки***

– ГТД М90ФР

– ДГАС-1600

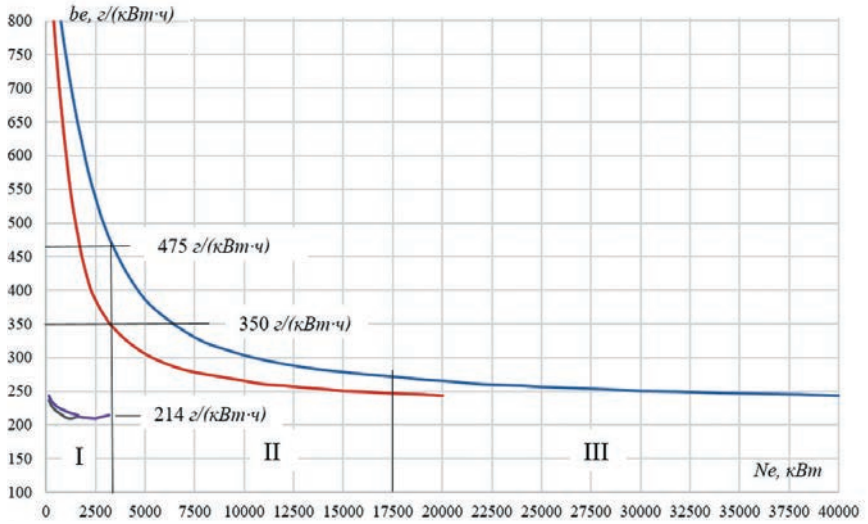


Рис. 3. ***Совмещенный график изменения удельных расходов топлива ГТД М90ФР и ДГАС-1600 корвета «Меркурий»***

– совместная работа двух ГТД М90ФР

– работа одного ГТД М90ФР

– работа двух ГЭД от одного ДГАС-1600

– работа двух ГЭД от двух ДГАС-1600

(см. рис. 2). Следует отметить, что наибольшая экономичность ГТД достигается на нагрузках, время работы двигателя на которых в связи с ускоренным исчерпанием ресурса ограничена.

У дизельных двигателей конструктивно можно предусмотреть изменение удельного расхода топлива таким образом, что его минимум будет приходиться на нагрузку 70–80% от номинальной (см. рис. 1), на которой двигатель может работать большую часть времени без ограничений. Кроме того, диапазон изменения удельного расхода топлива дизелем V12 ДМ-185 находится в пределах 209 –236 г/(кВт.ч), т. е. существенно более узкий, чем у ГТД.

При совмещении удельных расходов топлива главных двигателей на одном графике картина в плане информативности для выбора экономичных режимов работы ЭУ становится еще более показательной (рис. 3).

Здесь можно наблюдать узкий диапазон изменения агрегатной мощности дизеля с достаточно высокой экономичностью и широкий диапазон изменения агрегатной мощности ГТД с приемлемой экономичностью лишь на больших нагрузках – более 14 МВт.

Учитывая, что в состав ГЭУ корабля включают два ДГАС-1600 и два ГТД М90ФР, при разработке совмещенных графиков изменения удельных расходов топлива необходимо учитывать возможность их совместной, т. е. параллельной, работы. В этом случае кривая удельных расходов топлива растягивается по оси абсцисс пропорционально суммарной мощности параллельно работающих двигателей. Здесь представлена информация об удельным расходам топлива для различного состава работающих главных двигателей корвета «Меркурий».

На рис. 3 выделены три зоны. Зона I характеризует малые скорости хода корабля, от 0 до 14 уз, или изменение мощности ГЭУ от 0 до 3200 кВт. Указанный скоростной (мощностной) диапазон может обеспечиваться несколькими режимами работы ГЭУ с различным составом действующих механизмов и с различной степенью топливной эффективности.

Самым эффективным является режим движения корабля под двумя ГЭД, обеспечиваемый параллельной работой двух дизель-генераторов ДГАС-1600.

Режим работы одного ГТД через межредукторную перекидку (МРП) на две линии вала гораздо менее эффективен, а режим работы двух ГТД, каждый на свою линию вала, самый неэффективный.

При движении корабля под двумя ГЭД от 2×ДГАС-1600 удельный расход топлива составит минимальное зна-

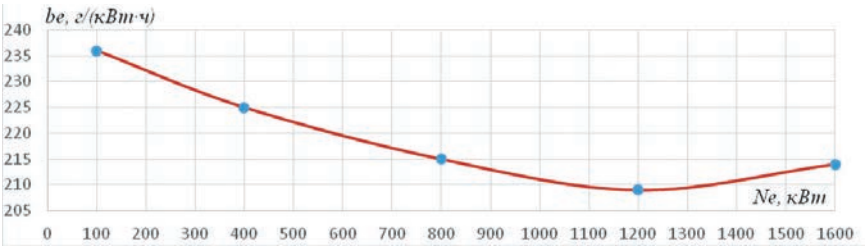


Рис. 4. ***Изменение удельного расхода топлива различным составом работающих главных двигателей корвета «Меркурий»***

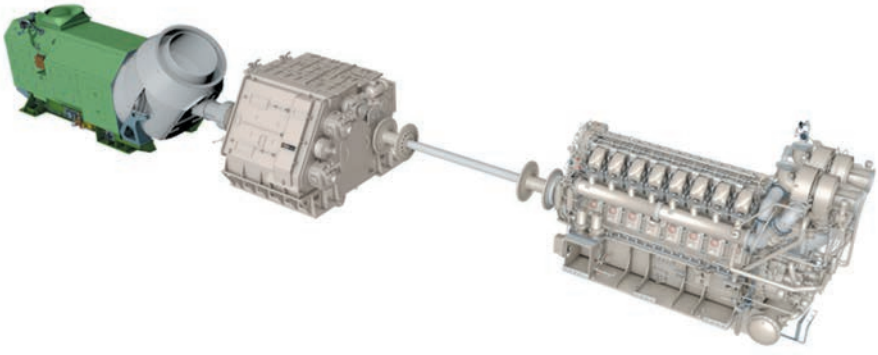


Рис. 5. ***Дизель-газотурбинный агрегат М55Р***

чение: ~ 214 г/(кВт·ч), соответственно, часовой расход топлива составит $B_ч = be \cdot Ne = 0{,}214 \cdot 3200 \approx 685$ кг/ч, а суточный расход ≈ 16,4 т/сут.

При движении корабля с такой же скоростью (14 уз) под одним ГТД М90ФР через МРП на две линии вала соответствующие расходы топлива составят: ~ 350 г/(кВт·ч), 1120 кг/ч, или ≈ 26,9 т/сут. А при движении корабля с использованием двух ГТД расходы топлива кораблем будут наибольшими, соответственно ~ 475 г/(кВт·ч), 1520 кг/ч, или ≈ 36,5 т/сут., т. е. разница между наилучшим и наихудшим способами использования ГЭУ в плане топливной экономичности составляет более чем в 2 раза.

Зона II соответствует скоростям хода корабля в диапазоне от 14 до примерно 24 уз, которая может обеспечиваться двумя альтернативными способами: под одним либо под двумя ГТД, работающими на две линии вала. Первый вариант использования ГЭУ более предпочтителен по отношению ко второму варианту, но по мере увеличения скорости хода корабля эти различия постепенно стираются.

Зона III соответствует высоким скоростям хода корабля и обеспечивается безальтернативной работой двух ГТД. И хотя на эту зону приходится не более 20% всех миссий корабля, такие режимы обеспечиваются с достаточно высокой топливной эффективностью, т. е. с минимальными удельными расходами топлива (рис. 4).

Следует отметить, что основная доля всех миссий корабля (порядка 80%) реализуется в I и II зонах ходовых режимов, причем, если в зоне I режимы движения обеспечиваются с достаточно высокой экономичностью, то в зоне II экономичность ЭУ ниже, так как эти режимы обеспечиваются менее экономичными ГТД. Поэтому, исходя из соображений обеспечения минимальных расходов топлива и наибольшей дальности плавания корабля, конструкторы АО «ЦМКБ «Алмаз» стремились зону I сдвинуть вправо, насколько это возможно, с учетом вышеизложенных ограничений. В результате удалось в зоне I обеспечить ходовые режимы до 14 уз включительно, что полностью закрывает практически все малошумные режимы поиска подводной лодки при решении задач ПЛО.

С учетом сложности реализации большинства режимов плавания корабля с помощью какой-либо одной схемой конструкторами АО «ЦМКБ «Алмаз» была реализована идея межредукторной перекидки, позволяющая обеспечить работу любого из ГТД или ГЭД на обе линии вала. Такое техническое решение позволяет перекрыть практически весь диапазон основных миссий корабля (зону II) более экономичной работой одного ГТД М90ФР (см. рис. 4). Кроме того, такое решение повышает структурную надежность и живучесть ГЭУ.

Следует отметить, что по мере роста агрегатной мощности используемых дизельных приводов и гребных электродвигателей системы электродвижения пропорционально возрастают их габариты и масса, а также габариты и масса остального обеспечивающего оборудования (генераторы электроэнергии, статические преобразователи и др.), которые в какой-то момент могут выходить за рамки ограничений по нагрузке масс ЭУ и даже за пределы обводов корпуса корабля.

Для сравнения, за рубежом достигнутый уровень обеспечения движения корабля под ГЭД для фрегатов серий FREMM и фрегата пр. 26 «Global Combat Ship»» составляет 16 уз, а для немецких фрегатов серии F125 с дизель-генераторами фирмы MTU 20V 4000 мощностью 4×2900 кВт удалось достичь скорости движения под ГЭД в 20 уз. Но здесь следует учитывать, что это корабли гораздо большего водоизмещения – до 8000 т, т. е. более чем в 2 раза превышают водоизмещение корвета «Меркурий», а, как известно, по мере роста водоизмещения ограничения по массе и габаритам оборудования ЭУ не так строги.

Возвращаясь к обоснованию облика ЭУ перспективных многоцелевых кораблей в более общем плане, необходимо заметить, что системы частичного электродвижения остаются более предпочтительными и для кораблей классов «фрегат» и «эскадренный миноносец» по сравнению с традиционно используемыми прямодействующими схемами COGAG передачи крутящего момента от ГТД на винт. В этом можно убедиться путем выполнения расчетов, аналогичных приведенным выше, применительно к пр. 20386. Однако альтернативой схемам COGAG уже с начала 60-х гг. до начала 2000-х гг. стали комбинированные дизель-газотурбинные ГЭУ с прямодействующей передачей крутящего момента от теплового двигателя через редуктор на винт схемного исполнения CODAG или CODOG, получившие широкое распространение на надводных кораблях. Данный тип схемного исполнения достаточно хорошо зарекомендовал себя в эксплуатации, не потерял своей актуальности и используется на современных кораблях и по настоящее время. Например, ЭУ схемного исполнения CODAG используются на фрегатах ВМС Германии F124 типа «Sachsen», а схемного исполнения CODOG – на эсминцах ВМС Франции типа «Horizon» и эсминцах ВМС Италии типа «Andrea Doria». В отечественном ВМФ ЭУ схемного исполнения CODOG, разработанная по техническому заданию АО «ЦМКБ «Алмаз» для надводного корабля «Гром», в настоящее время используется на фрегатах пр. 22350. В состав дизель-газотурбинного агрегата М55Р (рис. 5) входят: ГТД М90ФР мощностью 20 200 кВт, главный дизель 10 Д49 (16ЧН 26/26) мощностью 3825 кВт, реверсивный редуктор РО-55 и система управления.

С целью достижения высокой топливной экономичности и наибольшей дальности плавания корабля ЭУ схемного исполнения CODAG или CODOG являются более предпочтительными по сравнению с ЭУ с частичным электродвижением схемного исполнения CODLAG или CODLOG, поскольку исключают двойное преобразование энергии при передаче крутящего момента на винт. Так, суммарные потери при передаче крутящего момента на винт с использованием дизель-электрической схемы составляют не менее 10% (η_{Σ}= 0,9). Для сравнения, механические потери в редукторе и валопроводах с прямодействующей передачей крутящего момента на винт схемного исполнения CODAG или CODOG составят всего около 3% (η_{p}= 0,97). Но, хотя использование частичного электродвижения приводит к снижению экономичности ГЭУ на 7–8%, тем не менее подобные схемы получили широкое распространение за рубежом на таких кораблях, как фрегаты FREMM ВМС Франции и ВМС Италии, фрегаты пр. 26 «Global Combat Ship» британских ВМС и пр. F125 ВМС Германии. Данное обстоятельство, учитывая многоцелевой характер использования таких кораблей, очевидно обусловлено положительным опытом применения частичного электродвижения при выполнении кораблями поисковых задач ПЛО, в особенности с буксируемой ГАС. Такими качествами, как малошумность и плавность изменения хода, обладают только гребные электрические приводы. При использовании прямодействующих дизельных или газотурбинных приводов на малых ходах в режиме поиска подводной лодки возникает множество проблем, связанных с неустойчивой работой дизеля или газовой турбины на малых оборотах. В частности, наблюдается повышенная вибрация дизелей, а также отсутствует возможность управления изменением частоты вращения гребного вала непосредственно с ходового мостика, минуя машинный телеграф.

Таким образом, в силу указанных выше неоспоримых преимуществ частичного электродвижения по сравнению с прямодействующими приводами ЭУ схемного исполнения CODLAG и CODLOG находят массовое применение за рубежом, несмотря на определенное снижение топливной экономичности.

Последние разработки в области электротехники позволяют существенно нивелировать негативное влияние двойного преобразования энергии при передаче крутящего момента на винт в плане снижения топливной экономичности.

Среди таких разработок можно выделить:

– использование новых технологий, таких как производство твердотельных полупроводников в силовом электрооборудовании, использование постоянных магнитов с полем большой индуктивности и высокотемпературной сверхпроводимости, что позволяет снизить потери при двойном преобразовании энергии, связанных с применением системы электродвижения, и значительно повысить КПД при передаче мощности [6];
– применение в сети питания ГЭД напряжения до 6300 В, чтобы снизить потери, имеющие место при наличии в электродвижении низковольтной силовой сети (400 В). Ожидается, что потери при этом сократятся в два раза.

Кроме того, на основе проведенных расчетов можно выработать предложения по перспективному дальнейшему развитию корабельных тепловых двигателей, которые могут быть востребованы, в том числе и при использовании частичного электродвижения.

Среди таких предложений можно выделить:

– завершение создания на ООО «УДМЗ» дизель-генераторов на базе дизеля ДМ-185 и развитие на его основе линейки высокооборотных корабельных дизельных двигателей в мощностном диапазоне от 800 до 4600 кВт. Разработка и создание линейки корабельных дизелей данной серии позволит приблизиться к мировым лидерам дизелестроения, таким как, например, MTU серий: 16V 2000, 16V 4000 и 16V 1163, и снять ряд ограничений по массе и габаритам оборудования ЭУ;
– разработку ПАО «ОДК-Сатурн» на основе базового ГТД М90ФР перспективного корабельного ГТД М90ФРМ мощностью 25 МВт, а также перспективного ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью 35 МВт и более [4, 5]. Указанные направления не противоречат разработкам мировых лидеров корабельного газотурбостроения, таких как Rolls-Royce и General Electric.

В заключение можно еще раз подчеркнуть, что в начале XXI в. кардинально изменились устоявшиеся с начала 70-х – середины 80-х гг. взгляды конструкторов на формирование облика ЭУ многоцелевых кораблей. Канули в прошлое устаревшие газо-газотурбинные ЭУ схемного исполнения COGAG, маршевая часть ЭУ стала замещаться исключительно дизельными двигателями взамен ранее устанавливаемых газотурбинных. В обеспечение малошумных поисковых режимов работы ЭУ при решении кораблем задач ПЛО вместо прямодействующих приводов от дизеля (через редуктор) на винт повсеместно стали применяться дизель-электрические приводы, где дизели используются в качестве приводов генераторов, а передача крутящего момента на винт осуществляется за счет гребных электродвигателей. При этом, как это подтверждается расчетами, даже при наличии значительных потерь энергии в процессе двойного ее преобразовании, ЭУ с частичным электродвижением все равно является более предпочтительной в плане топливопотребления по сравнению с газо-газотурбинной установкой. В результате на современных и перспективных надводных кораблях наблюдается абсолютное доминирование энергетических установок схемного исполнения CODLOG или CODLAG.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Захаров И.Г., Шляхтенко А.В.* Корветы: Концептуальное проектирование. – СПб.: ООО «Береста», 2012. – 228 с.
2. *Шляхтенко А.В., Захаров И.Г.* Тенденции развития многоцелевых кораблей океанской зоны//Национальная оборона. –2019. – № 7 (июль). – С. 86–90.
3. *Хализов А.* Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии//Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 67–74.
4. *Чупин П.В.* Российский газотурбинный двигатель М90 ФР. – Доклад на секции НТО им. А.Н. Крылова, СПб., 21.03.2018 г.
5. *Чупин П.В.* Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД. – Доклад на межотраслевой науч.-практ. конфер. «ВОКОР-2018», ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018.
6. *Шинкоренко Д.* Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран//Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 1. – С. 54–61; № 3. – С. 58–61. ■

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТ ОТДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ АО «СПМБМ «МАЛАХИТ»

В.В. Замуков, *канд. техн. наук, доцент, науч. руководитель по ЭУ и СУ ЭУ,*
Е.В. Сальников, *гл. конструктор специализации,*
М.И. Романова, *инженер 1-й категории,*
В.А. Михайлов, *начальник сектора,*
Д.В. Сидоренков, *канд. техн. наук, начальник сектора,*
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 8517

АО «СПМБМ «Малахит» – пионер в разработке и создании атомных подводных лодок (АПЛ) страны. Разработанная специалистами бюро первая советская АПЛ «Ленинский комсомол» открыла эру отечественного атомного подводного флота. Ее атомная энергетическая установка с водо-водяным реактором послужила основой для создания ряда проектов отечественных АПЛ последующих поколений. 17 января 1959 г. первая АПЛ «К-3» пр. 627 была принята в опытную эксплуатацию.

Еще одним направлением работы АО «СПМБМ «Малахит» параллельно с разработкой водо-водяного реактора (ВВР) является создание энергетической установки с реактором на жидкометаллическом теплоносителе (ЖМТ) – сплав «свинец – висмут». На АПЛ пр. 645, принятой в опытную эксплуатацию 30 октября 1963 г., была применена ЭУ с таким реактором.

Сегодня только АО «СПМБМ «Малахит» со своими контрагентами владеет технологией производства установок с ЖМТ в первом контуре. Большой творческий вклад энергетики бюро внесли в создание ЭУ с реакторами ЖМТ типа ОК-550 (разработка АО «ОКБМ Африкантов») и типа БМ-40 (разработка АО «ОКБ «Гидропресс») для АПЛ проектов 705 и 705К. Впервые в мировой практике удалось спроектировать ЯЭУ с удельной массой порядка 21,7 кг/кВт, т. е. в два раза меньше, чем для ЯЭУ с ВВР под давлением (ВВРД) при почти равной суммарной эффективной мощности кораблей обоих проектов. По этой технологии была построена серия из семи кораблей, которые в настоящее время выведены из эксплуатации. Таким образом, был пройден весь жизненный цикл от разработки, создания, эксплуатации до утилизации кораблей с ЖМТ.

В результате плодотворного научного сотрудничества разработчика ПТУ (ПАО «КТЗ») и СПМБМ «Малахит») удалось спроектировать и построить первую блочную ПТУ (БПТУ) для пр. 705, состоящей из главного турбозубчатого агрегата, двух турбогенераторов со сбросом отработанного пара на двухсекционный главный конденсатор. В этот блок также входят система смазки, часть конденсатно-питательной системы с конденсатными и питательными насосами, паровпускная арматура, жесткая рама с двойным каскадом амортизации и система регулирования и управления ПТУ. Особое внимание при проектировании ЭУ АПЛ пр. 705 и пр.705 К было уделено комплексной системе управления техническими средствами (КСУ ТС) корабля. Это обеспечило управление всей энергетической установкой одним оператором с центрального поста управления. Эти решения в части БПТУ и КСУ ТС стали основой для создания кораблей следующих поколений.

Много нового внесено в конструктивные схемы ЯЭУ АПЛ 3-го поколения, прежде всего в повышение их эксплуатационной надежности и снижение шумности, что убедительно подтвердили натурные испытания АПЛ «Гепард» пр. 971.

Единственными заказами АПЛ 3-го поколения, на которых уже при строительстве были внедрены первоочередные мероприятия по соответствию правилам ядерной безопасности (ПБЯ В.08–88), являются АПЛ «Вепрь» и «Гепард» пр. 971.

Решением Минэкономики и ВМФ № ВМ-215/30–849 от 10.12.97 г. за АО «СПМБМ «Малахит» «закреплен статус базового предприятия по координации работ в отрасли по энергетическим установкам, системам управления энергетическими установками, по ядерной и радиационной безопасности при проектировании, эксплуатации, выводе из действия и утилизации энергетических установок изделий 21 и 65». Также решением Минэкономики и ВМФ № ВМ-216/30–850 от 12.03.99 г. на базе АО «СПМБМ «Малахит» был организован совет главных конструкторов отрасли по ЭУ.

Решением Генерального заказчика на АПЛ 4-го поколения предписано применять унифицированные главные энергетические установки (ГЭУ) на базе ППУ КТП-6 и БПТУ ОК-17. Энергетиками АО «СПМБМ «Малахит» совместно с АО «ОКБМ им. И. И. Африкантов» и ПАО «КТЗ» разработана и создана унифицированная ГЭУ в составе опытно-поставочных образцов ППУ КТП-6 и БПТУ ОК-17. Эта установка впервые применена на заказе «Ясень», прошла все виды испытаний, принята для серийного производства с присвоением литеры «О$_1$» и успешно эксплуатируется.

При этом следует отметить, что в ППУ КТП-6 внедрены все возможные перспективные технические решения, присущие ВВРД, и получены характеристики максимально возможные для данного типа реакторов на многие десятилетия вперед.

Что же касается БПТУ, то там есть над чем работать. Для получения необходимых для перспективных АПЛ характеристик требуется принятие новых технических и технологических решений как для комплектующего оборудования, так и для БПТУ в целом.

Изначально при определении структуры бюро было принято абсолютно верное решение включить в состав отделения энергетики подразделений, занимающихся автоматизацией ГЭУ. Это позволило закрепить организационное единство сложнейшего объекта управления и его системы автоматики (ГЭУ и СУ ГЭУ) на уровне проектанта корабля.

В 2000-х гг., исходя из новых задач, предъявляемых заказчиком к ГЭУ и СУ ГЭУ, в составе отделения энергетики образовано подразделение, занимающееся вопросами математического моделирования ГЭУ совместно с СУ ГЭУ. Это позволило проводить проверку в стенах бюро разрабатываемых алгоритмов управления и режимов использования ГЭУ в зависимости от режимов использования корабля, значительно сокращая таким образом время отладки на реальном объекте. Также математическая модель ГЭУ совместно с СУ ГЭУ является подходящей основой тренажерных комплексов для обучения личного состава ЭМБЧ.

Кроме того, в составе отделения было образовано подразделение ответственных конструкторов – «хозяев» энергетических отсеков корабля, занимающихся компоновкой оборудования и трубопроводов ГЭУ, вспомогательных систем, обслуживающих ГЭУ и общекорабельных систем. Это решение было обусловлено исключительной сложностью как самого оборудования ГЭУ и ее систем, так и их взаимодействия между собой.

Помимо своей основной деятельности, связанной с проектированием ЭУ для АПЛ, а также систем регулирования основного оборудования ЭУ и систем управления ЯЭУ в целом, выпуска конструкторской документации, участия в процессе постройки заказов и их испытаний и сдачи на заводах-строителях, энергетики СПМБМ «Малахит»

ведут научно-поисковые работы в своей области.

Так, например, в соответствии с межотраслевой целевой программой МЦП «Энергетика-А-2015» СПМБМ «Малахит» с 2003 г. по 2006 г. выполнило работы по теме «Конкурсная разработка сокращенного технического проекта вариантов ЯЭУ с ВВР и ЖМТ для изделий 65» в соответствии с контрактом с Федеральным агентством по атомной энергии № 16.03.625 от 04.02.03 г. (шифр «Малыш»).

Под руководством и при участии СПМБМ «Малахит» работа выполнялась на основе конкурса, в котором приняли участие АО «НИКИЭТ им. Н. А. Доллежаля», АО «ОКБМ им. И. И. Африкантов», АО «ОКБ «Гидропресс», ПАО «КТЗ», ФГУП «ЦНИИ им. А. Н. Крылова».

Впервые в практике подводного кораблестроения оценка результатов конкурсных сокращенных технических проектов ЯЭУ проводилась по методике количественной оценки «Критерии и методика сопоставительного анализа конкурсных проектов АЭУ для изделий 65» № 65.401–049–04, разработанной АО «СПМБМ «Малахит» и согласованной со всеми заинтересованными организациями.

Результаты научно-исследовательской работы «Малыш» принимала экспертная комиссия, назначенная приказом руководителя Федерального агентства по атомной энергии С. В. Кириенко № 457 от 18.09.06 г. По мнению комиссии, использование технических решений, полученных при этом, позволит повысить надежность, улучшить массогабаритные характеристики ЯЭУ изделий 65 и стать основой при разработке ЯЭУ для перспективных изделий 65 мощностью до 5000 кВт.

В 2003 г. СПМБМ «Малахит» выиграло конкурс среди предприятий отрасли на проведение в качестве головного исполнителя «Исследования по формированию облика унифицированного автоматизированной ЯЭУ с повышенной безопасностью, надежностью и экономичностью для перспективных атомных ПЛ и НК» (шифр «Абажур-3») и «Исследования проблем и обоснование технических решений, направленных на повышение надежности и пожаробезопасности корабельных паротурбинных и турбогенераторных установок перспективных кораблей ВМФ» (шифр «Абажур-2»). В 2006 г. СПМБМ «Малахит» успешно завершило эти конкурсные НИР по договорам с ВМФ.

Результаты их принимала межведомственная комиссия, назначенная приказом командира Главного управления кораблестроения (ГУК) А. Ф. Шлемова № 376 от 24.11.06 г., по мнению которой, работа выполнена на высоком научно-техническом уровне. Использование технических решений, полученных при выполнении данных работ, позволит повысить надежность, экономичность и пожаробезопасность ЯЭУ перспективных кораблей ВМФ до уровня современных требований.

Также СПМБМ «Малахит», в инициативном порядке, совместно с АО «ОКБ «Гидропресс» разработан проект плавучей АЭС на базе реактора СВБР-75 с ЖМТ, который отмечен дипломом Комитета по науке и высшей школе Санкт-Петербурга за лучший инновационный проект в 2010 г. в номинации «Лучшая научно-инновационная идея» и защищен Патентом РФ.

Также СПМБМ «Малахит» является пионером в создании энергоустановок для глубоководных технических средств.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

За последние 30 лет в нашем бюро были выполнены исследования всех существующих типов воздухонезависимых ЭУ (ВНЭУ).

Для проекта малой ПЛ «Пиранья» (пр. 865) была спроектирована, изготовлена и проведены межведомственные испытания в 1991 г. полноразмерной ЭУ «Кристалл-20» с низкотемпературными топливными элементами мощностью 130 кВт.

Также для ПЛ «Пиранья» в тот же период проводились исследования и в области двигателей с внешним подводом тепла (ДВПТ) типа «Стирлинг» с созданием опытного образца мощностью 50 кВт. Результаты оказались не слишком удачными – полезная мощность этого опытного образца не превысила 4 кВт, что подтвердило справедливость тезиса о недостаточном уровне технологического развития отечественной промышленности для изготовления ДВПТ на приемлемом техническом уровне. Распад СССР привел к прекращению данных работ применительно к ПЛ «Пиранья», после чего были продолжены уже в других организациях.

С середины 90-х гг. был выполнен комплекс исследований, в рамках которых созданы и испытаны дизельные двигатели мощностью 10 и 100 кВт, работающие по полузамкнутому циклу. При этом была доказана возможность работы дизеля на тяжелой искусственной газовой смеси, отработаны многие технологические вопросы, касающиеся приготовления ИГС, автоматизации управления установкой и т. д.

Проведенные исследования показали, что основным недостатком ДВС замкнутого цикла является высокий уровень вибрации, тем не менее большинство эксплуатационных и технологических вопросов решается эффективнее, чем для установки с ЭХГ.

В развитие идеологии ВНЭУ с тепловым двигателем замкнутого цикла и в продолжение исследований в данном направлении, начиная с 2010 г., ведутся работы по теме «Турбогаз», цель которой – разработка научно-практических основ создания единой газотурбинной энергетической установки (ЕГТЭУ).

На разных этапах работы к исследованиям привлекались НПО «Сатурн», СКБ «Турбина», НПО «Гелиймаш»,

Рис. 1. ***Испытательный стенд и макетный образец энергоустановки***

«Винета» и другие отечественные предприятия.

На сегодняшний день выполнено более десяти НИР, в рамках которых:

- разработана и запатентована схема ЕГТЭУ;
- проработаны вопросы создания основных комплектующих изделий;
- проработаны вопросы хранения запасов окислителя, утилизации продуктов сгорания, запатентованы принципиальные схемы системы утилизации;
- проработаны вопросы применения альтернативных видов горючего;
- разработаны проекты макетного образца и испытательного стенда;
- создан специализированный испытательный стенд и макетный образец установки (рис. 1);
- успешно проведены экспериментальные исследования макетной установки на стенде;
- ведутся работы по дооснащению макетной установки системой утилизации продуктов реакции для ее экспериментального исследования.

В ходе проведения экспериментальных исследований неоднократно осуществлялись запуски установки, продемонстрированные представителям науки, промышленности и Министерства обороны РФ.

Таким образом, объем выполненных работ стал достаточным научно-техническим заделом для выполнения ОКР по созданию корабельной главной ЕГТЭУ (рис. 2).

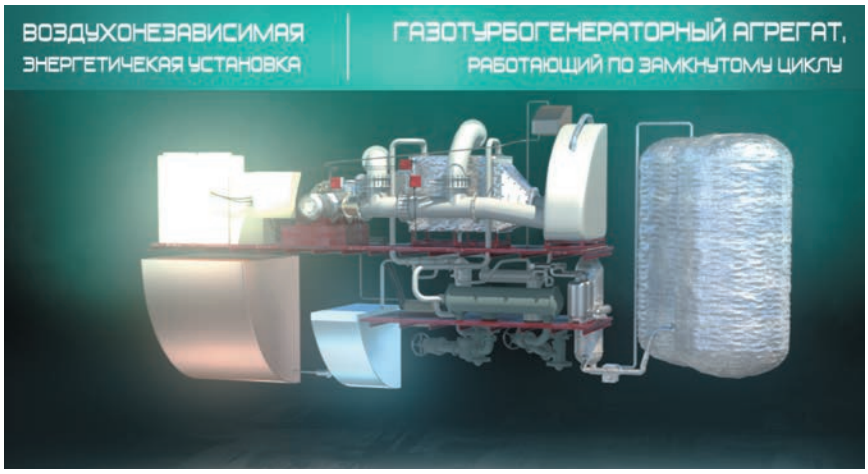


Рис. 2. ***Корабельная главная единая газотурбинная энергоустановка***

СОЗДАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА

Впервые в истории отечественного судостроения были созданы автоматизированная система обучения эксплуатирующего персонала с интегрированным компьютерным тренажером управления ГЭУ, а также натурный тренажер, построенные на базе единой математической модели ГЭУ. Они получили высокую оценку ВМФ России и инозаказчика. Работа выполнена в сотрудничестве с ФГБУ «НИЦ «Курчатовский институт».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении научно-поисковых работ образован технологический и технический задел, позволяющий решать на более высоком уровне основную задачу, стоящую перед конструкторами энергетического отделения АО «СПМБМ «Малахит» – разработка и создание энергетических установок с системами управления для перспективных заказов. ■

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ОБМОТКАХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В.В. Фогель, *инженер 2-й категории,*
И.В. Онорин, *инженер-конструктор 1-й категории,*
В.Ю.Селякова, *инженер,*
В.Н. Грачев, *начальник отдела, АО «НПФ «Меридиан»,*
контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 529, доб. 512, доб. 526, доб. 101

Известно, что в процессе эксплуатации статических преобразователей СКЭМП часто возникают проблемы, связанные с таким явлением, как токи утечки силовых линий в обмотках дополнительных устройств (ДУ) на корпус судна. Появление таких токов напрямую влияет на качество и работоспособность судового радиоэлектронного оборудования, а именно:

- возникают помехи (уменьшение соотношения сигнал/шум);
- увеличивается уровень пульсаций в преобразователях;
- ухудшаются метрологические характеристики радиоэлектронной аппаратуры;
- понижаются или повышаются заданные напряжения питания;
- возможен выход всей системы из строя;
- ухудшаются условия электробезопасности и появляется риск воспламенения.

Как правило, при работе СКЭМП обмотки ДУ функционируют изолированно друг от друга и включаются согласно заранее заданной программе. Данные обмотки еще до начала эксплуатации имеют незначительную величину тока утечки на корпус. Однако со временем в процессе эксплуатации сопротивление изоляции обмотки ДУ относительно корпуса может уменьшаться, а значение токов утечки соответственно увеличиваться. При этом количество таких поврежденных обмоток ДУ также может только увеличиваться. Проверки системы до начала работы и по окончании в данном случае не всегда оказываются достаточными.

В связи с этим существует насущная необходимость в непрерывном автоматическом контроле параметров изоляционных свойств цепей под напряжением, а также в раннем выявлении неисправности системы, так как от этого зависит ее работоспособность в целом.

Хотя проблема измерения величины сопротивления изоляции относительно корпуса известна давно, однако широко применяемые в промышленности методы оценки тока утечки через изоляцию на корпус имеют ряд недостатков:

– они нередко вызывают помехи по питанию, которые могут приводить к ложным срабатываниям систем защиты, сбрасыванию регистров и микроконтроллеров,
– могут приводить к большим погрешностям измерений вплоть до признания их метрологически некорректными. Поэтому стремятся ограничить величины скачков напряжений на корпусе, вызванных процессом измерения.

Очень важным и актуальным для исследования представляется необходимость уменьшения времени измерения, прежде всего потому, что чем быстрее выполнить измерения, тем легче удается выявить более быстрые изменения потенциала на корпусе и более достоверно определять конкретную обмотку ДУ из множества, сопротивление изоляции которой меньше допустимого уровня. При этом стоит отметить, что обмотка может находиться под любым напряжением.

Не менее важны и оценка влияния высокого уровня помех, обычно присутствующих на корпусе крупных объектов, а также разработка методов ослабления их влияния на результаты измерения.

С учетом сказанного исследование методов измерения величины сопротивления изоляции, оказывающих минимальное влияние на силовые цепи статических преобразователей с минимально коротким временем воздействия, как нельзя лучше отвечает тенденциям развития систем автоматического контроля, измерений и управления. Существующие на сегодняшний момент методы математического анализа для определения величины сопротивления изоляции основываются на данных, полученных методами измерения сопротивления изоляции, таких как метод непосредственного отсчета и метод вольтметра-амперметра. Но все они либо позволяют измерить ток утечки цепей, находящихся не под напряжением, либо существенно влияют на исследуемые цепи.

Очевидно, что необходим новый метод определения сопротивления изоляции обмотки ДУ, например, метод, который основывается на принципе уравновешенного моста и позволяет определить величину сопротивления изоляции с минимальным влиянием на измеряемую цепь за минимально короткое время воздействия.

Предприятие АО «НПФ «Меридиан» на протяжении уже более 50 лет успешно занимается разработкой и комплексной поставкой современного оборудования систем СКЭМП для нужд флота. Так, в частности, для современных кораблей ВМФ РФ был разработан модернизированный комплекс СКЭМП типа АМК-51. В рамках модернизации изделия АМК-51 специалистами предприятия был создан модуль автоматического контроля состояния сопротивления изоляции обмоток ДУ статических преобразователей (далее – модуль). Его уникальность состоит в следующем:
– применен уникальный аппаратно-аналитический комплекс, основанный на математической методике расчета сопротивления изоляции по измеренным косвенным параметрам (току и напряжению);
– отслеживание изменения величины сопротивления изоляции происходит в автоматическом режиме в условиях реального времени;
– контроль состояния изоляции обмоток ДУ осуществляется при постоянном включенном рабочем напряжении.

Далее будет приведен упрощенный метод расчета сопротивления изоляции обмотки ДУ корабельной СКЭМП, заложенный в аппаратно-аналитический комплекс модуля.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Прежде чем перейти к расчетной части, рассмотрим некоторые теоретические основы.

Факторами, которые обычно влияют на сопротивление изоляции, являются:
– состояние поверхности, например, наличие пыли, так как загрязнение поверхностей силовых кабелей может привести к снижению сопротивления изоляции;
– влажность воздуха: с повышением влажности окружающего воздуха сопротивление изоляции снижается в обратной пропорции;
– наличие электролита (конденсированной атмосферной влаги и других растворов) на поверхности изоляции силовых кабелей, который приводит к снижению сопротивления изоляции;
– температура: значение сопротивления изоляции изменяется обратно пропорционально изменению температуры. Так как различные материалы могут иметь разную степень температурной зависимости, для повышения точности следует умножать показания измерения на соответствующий коэффициент температурной коррекции.

Измерение величины сопротивления изоляции проводят путем подачи постоянного тестового напряжения на полюса обмотки и одновременного измерения протекающего через изоляцию тока утечки. Высокое постоянное напряжение позволяет вызвать слабый суммарный ток, который начнет протекать через изоляцию обмотки. Суммарный ток состоит из трех составляющих: тока заряда емкости мгновенной поляризации, абсорбционного тока и тока утечки (рис. 1).

Ток заряда емкости относительно высок в момент изменения полярности тестового напряжения, затем падает примерно по экспоненциальной кривой в течение некоторого времени, зависящего от значения паразитной емкости обмотки ДУ. Под влиянием тестового напряжения, приложенного к паразитной емкости, нейтральные атомы и молекулы диэлектрика деформируются: их положительные заряды смещаются в направлении отрицательного электрода, а отрицательные — в направлении положительного. В результате этого в диэлектрике вблизи электродов накапливаются заряды, связывающие (притягивающие) электроды с дополнительным зарядом. Накопленные в диэлектрике заряды создают электрическое поле с напряженностью, направленной противоположно полю, создаваемому приложенным тестовым напряжением. Деформация молекул происходит практически мгновенно и почти не сопровождается потерями энергии.

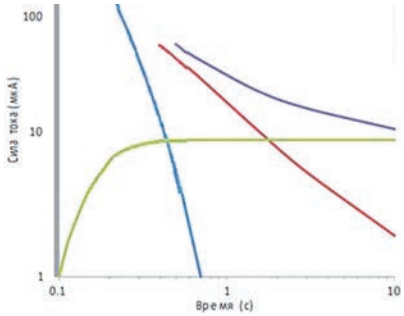


Рис. 1. ***Суммарный ток и его составляющие***
— ток поляризации заряда емкости, — ток абсорбции, — ток утечки, — суммарный ток, представляет собой сумму всех трех составляющих

Ток абсорбции падает с наименьшей скоростью. Время полного спада может занимать вплоть до нескольких минут и зависит от материала изоляции. Ток абсорбции вызван релаксационными видами поляризации и перераспределением свободных зарядов в объеме диэлектрика. Он приводит к накоплению носителей заряда в местах наибольшей концентрации ловушек (уровней захвата) — дефектов решетки, неоднородностей, границ раздела и т.п. В результате в материале изоляции возникают объемные заряды, и электрическое поле в нем становится неоднородным. Поле, создаваемое объемными зарядами, направлено в данном случае обратно приложенному полю. Ток абсорбции при постоянном тестовом напряжении наблюдается только в моменты переключения полярности тестового источника.

Токи утечки ($I^{+}_{из}$ и $I^{+}_{из}$) являются постоянными во времени, и именно их численное значение необходимо для расчета величины сопротивления изоляции. Ток утечки нужно измерять, спустя некоторое время после приложения тестового напряжения, когда закончатся переходные процессы и ток абсорбции спадет до нуля.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Упрощенная эквивалентная схема определения величины сопротивления изоляции, примененная в модуле, представлена на рис. 2. Данная схема предназначена только для демонстрации принципов работы модуля и не описывает выбранные схемотехнические решения для измерения параметров, необходимых при расчете величины сопротивления изоляции.

Далее рассмотрим принцип действия прибора для определения величины сопротивления изоляции. Учитывая, что модуль предназначен для контроля сопротивления изоляции во время штатной работы АМК-51 по прямому назначению (обмотки ДУ под напряжением), то на рис. 2 обмотка ДУ подключена непосредственно к регулятору тока из состава АМК-51, который создает ЭДС E_{reg} Обмотка ДУ изображена в виде последовательного соединения сопротивлений $R_{н1}$ и $R_{н2}$, чтобы можно было имитировать падение сопротивления изоляции в разных точках обмотки ДУ. В схеме прибора источник тестового напряжения U_{test} выбирается так, чтоб он был сходным по величине с номинальным значением E_{reg}. Посредством поочередного переключения ключевых элементов VT1,VT4 и VT2,VT3 происходит изменение полярности тестового источника, которое необходимо осуществлять при измерении величины сопротивления изоляции. Напряжение U_{test} подается на полюса обмотки ДУ через высокоомные резисторы R1 и R2 относительно корпуса прибора, что не влияет на значение E_{reg}. Напряжения на полюсах обмотки ДУ относительно корпуса измеряются вольтметрами R_{v1} и R_{v2} с высоким внутренним сопротивлением. При подаче тестового напряжения U_{test} на измерительную схему, в резисторе $R_{ш}$ возникает слабый ток утечки, который, проходя через блок масштабирования сигнала (БМС), оценивается на АЦП микроконтроллера.

Заложенные аппаратные средства модуля позволяют измерить следующие параметры расчетной схемы:

а) $I^{+}_{R_ш}$ и $I^{-}_{R_ш}$ – токи тестового источника при включении его в положительной и отрицательной полярности соответственно;

б) U^{+}_{p1} и U^{+}_{p2} – напряжения на положительном и отрицательном полюсах обмотки ДУ относительно корпуса соответственно при включении тестового источника в положительной полярности (ключевые элементы VT1 и VT4 замкнуты).

в) U^{-}_{p1} и U^{-}_{p2} – напряжения на положительном и отрицательном полюсах обмотки ДУ относительно корпуса соответственно при включении тестового источника в отрицательной полярности (ключевые элементы VT2 и VT3 замкнуты).

г) $I^{+}_{из}$ и $I^{-}_{из}$ – токи утечки через сопротивление изоляции обмотки ДУ $R_{из}$ при включении тестового источника в положительной и отрицательной полярности соответственно.

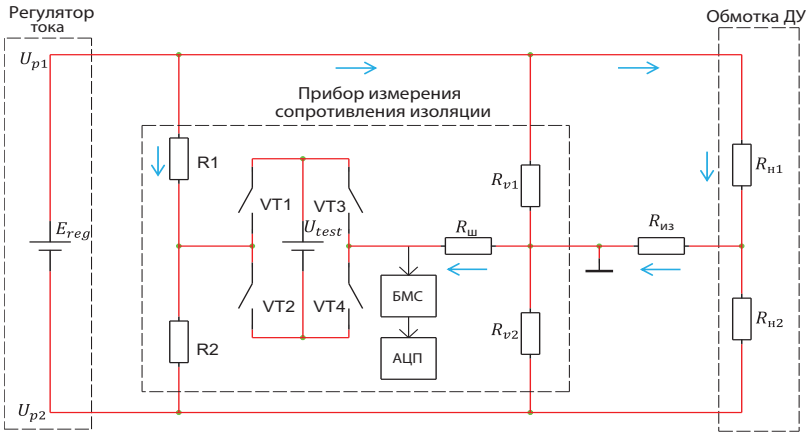


Рис. 2. ***Эквивалентная схема расчета сопротивления изоляции обмотки ДУ***

Используя второй закон Кирхгофа, составим следующую систему уравнений (контуры отмечены на рис. 2 стрелками):

$$\begin{cases} U_{test} = U^{+}_{из} + U^{+}_{R1} + E = I^{+}_{из}R_{из} + I^{+}_{R1}R1 + E1, \\ -U_{test} = U^{-}_{из} + U^{-}_{R1} + E = I^{-}_{из}R_{из} + I^{-}_{R1}R1 + E1; \end{cases}$$

$$2U_{test} = I^{+}_{из}R_{из} + I^{+}_{R1}R1 + \cancel{E1} - I^{-}_{из}R_{из} - I^{-}_{R1}R1 - \cancel{E1};$$

$$2U_{test} = R_{из}\left(I^{+}_{из} - I^{-}_{из}\right) + R1(I^{+}_{R1} - I^{-}_{R1});$$

$$R_{из} = \frac{2U_{test} - R1(I^{+}_{R1} - I^{-}_{R1})}{I^{+}_{из} - I^{-}_{из}}.$$

Составляющей $R1(I^{+}_{R1} - I^{-}_{R1})$ иногда пренебрегают, принимая ее равной нулю, и для расчета сопротивления изоляции используют формулу

$$R_{из} = \frac{2U_{test}}{I^{+}_{из} - I^{-}_{из}}.$$

Данная формула имеет право на существование, но для более точного расчета необходимо учитывать составляющую $R1(I^{+}_{R1} - I^{-}_{R1})$, тем более что расчетная схема позволяет вычислить ее:

$$R_{из} = \frac{2U_{test} - R1(I^{+}_{R1} - I^{-}_{R1})}{I^{+}_{из} - I^{-}_{из}} =$$

$$= \frac{2U_{test} - \cancel{R1}\left(\frac{U_{test} - U^{+}_{p1}}{\cancel{R1}} - \frac{-U_{test} - U^{-}_{p1}}{\cancel{R1}}\right)}{I^{+}_{из} - I^{-}_{из}} =$$

$$= \frac{\cancel{2U_{test}} - \cancel{2U_{test}} + U^{+}_{p1} - U^{-}_{p1}}{I^{+}_{из} - I^{-}_{из}} = \frac{U^{+}_{p1} - U^{-}_{p1}}{I^{+}_{из} - I^{-}_{из}}.$$

Выведенная формула позволяет с высокой степенью точности в диапазоне от 200 кОм до 5 МОм вычислить величину сопротивление изоляции обмотки ДУ при условии, что напряжение, приложенное к обмотке, не изменяется.

ВЫВОДЫ

В данной статье приведен упрощенный расчет величины сопротивления изоляции корабельной СКЭМП, который не описывает полный алгоритм сбора информации о значениях параметров расчетной схемы модуля и цифровую фильтрацию измеряемых сигналов. Однако он позволяет получить данные о состоянии сопротивления изоляции с погрешностью не более 10%. Модуль контроля величины сопротивления изоляции, разработанный специалистами АО «НПФ «Меридиан» для перспективных кораблей ВМФ РФ, среди прочего также использует выведенную формулу для расчета величины сопротивления изоляции при условии, что на обмотке ДУ постоянное напряжение. Помимо этого, алгоритм работы данного модуля дополнен формулами для вычисления сопротивления изоляции при изменении напряжения на обмотке с частотой до 0,5 Гц, а также формулами, позволяющими осуществить поиск конкретного места падения сопротивления изоляции.

Актуальность темы по совершенствованию методов расчета сопротивления изоляции продиктована все возрастающей потребностью судостроительной отрасли в автономных устройствах контроля величины сопротивления изоляции относительно корпуса и в устройствах, входящих в состав измерительных систем и испытательных комплексов, созданных на высоком качественном уровне.

Применение новых методик расчета в совокупности с основными методами измерения позволило значительно повысить точность получаемой информации о состоянии электрических параметров изоляции системы, что, в свою очередь, повысило качество и надежность работы корабельной СКЭМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Калашников Н.С., Кустов А.Г., Папайотис С.К.* Перспективные методы контроля сопротивления изоляции разветвленных электрических цепей. – Электрофорум,Санкт-Петербург, 2000 г., пилотный номер.
2. *Бабиков М.А., Комаров П.С., Сергеев А.С.* Техника высоких напряжений.– М.–Л.: Госэнергоиздат, 1963, с.399 – 400.
3. *Бородянский И.М., Самойлов Л.К.* Информационная оценка методов измерения сопротивления изоляции шин питания, находящихся под напряжением. – Мат-лы Международ. науч. конфер. «Информационный подход в естественных, гуманитарных и технических науках (ИП–2004)», Таганрог: ТРТУ, 2004. ■

РАСЧЕТ ГЛУБОКОВОДНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА МГМ-7

ЧАСТЬ 1

В.С. Кожевников, *коммерческий директор,*
П.К. Смирнов, *инженер отдела опытно-экспериментальных разработок,*
АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840

Гидравлические манипуляторные устройства (МУ), благодаря своей универсальности, получили широкое распространение в промышленности, робототехнике и транспортно-технологической сфере [1]. Не осталось в стороне и судостроение: на сегодняшний день большая часть фирм, занимающихся созданием подводных аппаратов, делает упор на разработку МУ, позволяющих существенно расширить возможности эксплуатации глубоководной техники.

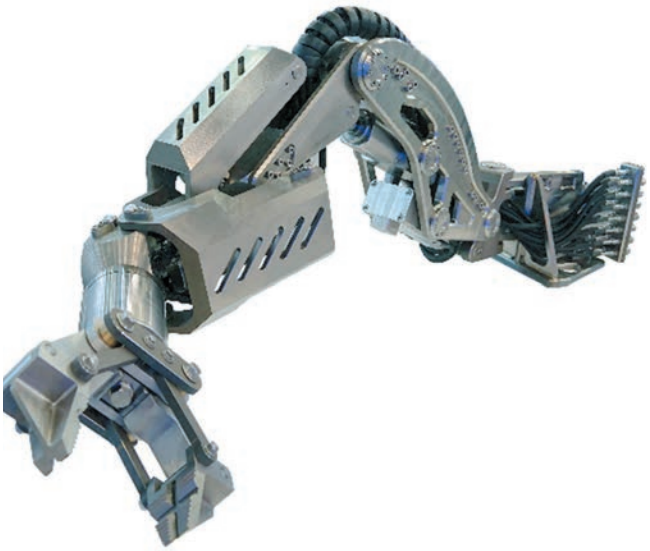


Рис. 1. ***Манипулятор МГМ-7***

В 2019 г. АО «Морские навигационные системы» приступило к разработке глубоководного гидравлического манипулятора МГМ-7, а летом 2021 г. завершило изготовление опытного образца (рис. 1). Данное устройство позволяет решать широкий спектр комплексных задач в составе автономных обитаемых и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) среднего и тяжелого классов, а именно:

- выполнение подводно-технических работ по обслуживанию объектов подводной инфраструктуры;
- проведение поисково-спасательных работ;
- решение задач по научно-исследовательскому направлению:
  - подводная геология (поиск и добыча природных ископаемых на шельфах);
  - сбор биологических и геологических образцов и проб жидкостей;
  - исследование океана, морской флоры и фауны.
- обследование затонувших кораблей и боеприпасов, контейнеров с радиоактивными отходами и других потенциально опасных объектов.

Цель предлагаемой статьи – продемонстрировать выполнение кинематического анализа МУ на примере МГМ-7. Одной из основополагающих задач кинематического расчета является решение прямой задачи кинематики и определение рабочего объема манипулятора в различных плоских сечениях.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для описания геометрии манипулятора используется кинематическая схема – графическое представление последовательности звеньев, соединенных между собой сочленениями (рис. 2).

Прямая задача кинематики заключается в определении положения и ориентации системы координат, связанной с исполнительным органом или рабочим инструментом, при заданном наборе обобщенных координат МУ. Геометрический метод решения основывается на представлении положения манипулятора в пространстве, разбиении имеющихся положений на плоскости и решении элементарных тригонометрических задач [2]. Этот метод позволяет рассчитать значения углов поворота звеньев МУ через известные значения координат рабочего органа с помощью законов планиметрии.

Для описания вращательно-поступательных движений между соседними звеньями используется матричный метод построения систем координат, связанных с каждым звеном кинематической цепи, – метод Денавита–Хартенберга [3]. Формируется однородная матрица преобразований размером 4×4, которая описывает положение системы координат каждого звена относительно системы координат предыдущего звена. Это дает возможность последовательно преобразовывать координаты рабочего органа МУ из инерциальной системы отсчета для рассматриваемой динамической системы.

На основании кинематической схемы, представленной на рис. 2, определены матрицы перехода в форме однородного преобразования координат:

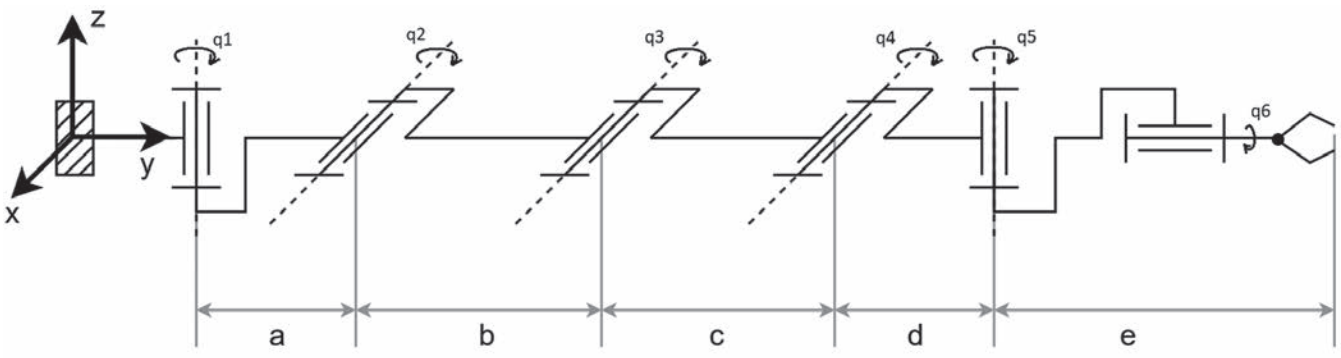


Рис. 2. ***Кинематическая схема МУ***

$$H_{01z}=\begin{pmatrix}0&1&0&0\\1&0&0&0\\0&0&-1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};H_{1z1}=\begin{pmatrix}\cos(q_1)&-\sin(q_1)&0&0\\\sin(q_1)&\cos(q_1)&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};$$

$$H_{12z}=\begin{pmatrix}1&0&0&a\\0&0&-1&0\\0&1&0&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};H_{2z2}=\begin{pmatrix}\cos(q_2)&-\sin(q_2)&0&0\\\sin(q_2)&\cos(q_2)&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};$$

$$H_{23z}=\begin{pmatrix}1&0&0&b\\0&-1&0&0\\0&0&-1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};H_{3z3}=\begin{pmatrix}\cos(q_3)&-\sin(q_3)&0&0\\\sin(q_3)&\cos(q_3)&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};$$

$$H_{34z}=\begin{pmatrix}1&0&0&c\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};H_{4z4}=\begin{pmatrix}\cos(q_4)&-\sin(q_4)&0&0\\\sin(q_4)&\cos(q_4)&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};$$

$$H_{45z}=\begin{pmatrix}1&0&0&c\\0&1&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix};\ H_{5z5}=\begin{pmatrix}\cos(q_5)&-\sin(q_5)&0&0\\\sin(q_5)&\cos(q_5)&0&0\\0&0&1&0\\0&0&0&1\end{pmatrix}.$$

Далее проводится расчет матриц перехода:

$$H_{01}=H_{01z}\cdot H_{1z1};\ H_{12}=H_{12z}\cdot H_{2z2};\ H_{23}=H_{23z}\cdot H_{3z3};$$
$$H_{34}=H_{34z}\cdot H_{4z4};\ H_{45}=H_{45z}\cdot H_{5z5}.$$

В специализированном программном комплексе был выполнен расчет радиус-вектора R_m, определяющего координаты положения крайней точки захвата исполнительного органа (точка m):

$$R_{m5}=\begin{pmatrix}m\\0\\0\\1\end{pmatrix};\ R_{m4}=H_{45}\cdot R_{m5};\ R_{m3}=H_{34}\cdot R_{m4};$$
$$R_{m2}=H_{23}\cdot R_{m3};\ R_{m1}=H_{12}\cdot R_{m2}.$$

Результатом перемножения матриц поворота является вектор-столбец, содержащий значения пространственных координат точки m в зависимости от углов поворота каждого отдельного узла конструкции МУ:

$$\begin{cases}\sin(q_1)\left(a+b\cos(q_1)+d\left(\cos(q_2-q_3)\cos(q_4)+\sin(q_2-q_3)\sin(q_4)\right)+\right.\\+c\cos(q_2-q_3)+m\cos(q_5)(\cos(q_2-q_3)\cos(q_4)+\sin(q_2-q_3)\sin(q_4)))-\\-\dfrac{m\sin(q_1+q_5)}{2}+\dfrac{m\sin(q_1-q_5)}{2};\\\cos(q_1)\left(a+b\cos(q_1)+d\left(\cos(q_2-q_3)\cos(q_4)+\sin(q_2-q_3)\sin(q_4)\right)+\right.\\+c\cos(q_2-q_3)+m\cos(q_5)(\cos(q_2-q_3)\cos(q_4)+\sin(q_2-q_3)\sin(q_4)))-\\-\dfrac{m\cos(q_1+q_5)}{2}+\dfrac{m\cos(q_1-q_5)}{2};\\d\left(\cos(q_2-q_3)\cos(q_4)-\sin(q_2-q_3)\cos(q_4)\right)-b\sin(q_2)-c\sin(q_2-q_3)+\\+m\cos(q_5)\left(\cos(q_2-q_3)\sin(q_4)-\sin(q_2-q_3)\cos(q_4)\right).\end{cases}$$

В полученную систему линейных трансцендентных алгебраических уравнений подставляются значения длин кинематических пар, после чего строится рабочий объем МУ за счет варьирования углов $q_1...q_5$. Угол q_6 не влияет на положение МУ в пространстве, так как отвечает только за поворот исполнительного органа МУ. Графическое отображение рабочего объема манипулятора в различных плоских сечениях представлено на рис. 3.

В ходе проделанной работы был проведен кинематический анализ манипуляторного устройства МГМ-7, по результатам которого определены рабочий объем и мертвые зоны МУ в различных плоских сечениях.

Результаты приведенных исследований полезны для повышения эффективности разработки МУ, а также для увеличения точности позиционирования и определения оптимальных траекторий перемещения исполнительного органа устройства при выполнении ПТР.

Данная статья является первой частью серии выпусков по разработке гидравлического манипулятора МГМ-7. В следующей части будет приведен прочностной анализ, который отразит расчет напряженно-деформированного состояния звеньев МУ методом конечных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александров М.П.* Грузоподъемные машины – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 552 с.
2. *Раевская Л.Т., Швец А.В., Дахиев Ф.Ф., Анкудинов Д.Т.* Расчет кинематических характеристик манипулятора при неизменном угле между стрелой и рукоятью // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2.
3. *Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А.* Методы управления робототехническими приложениями, 2016. – 13 с. ■

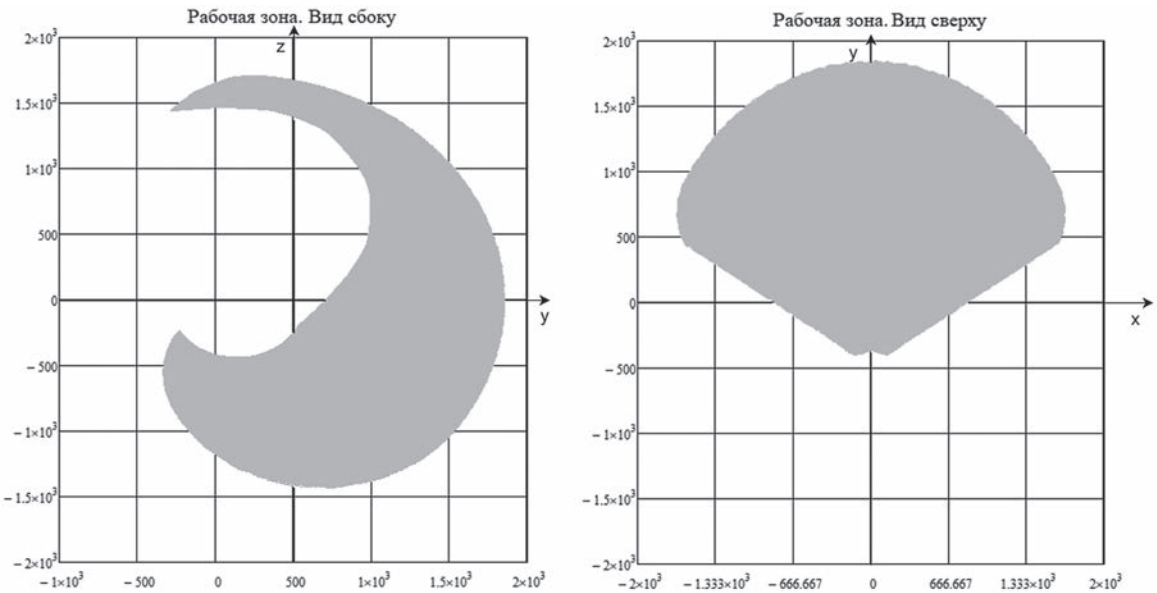


Рис. 3. ***Рабочий объем МУ. Вид сбоку и сверху***

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА УПРУГИХ МУФТ ПРИ РАСЧЕТЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

***В.К.Румб**, канд.техн.наук, проф.,*
***Хтоо Наинг Аунг**, аспирант, СПбГМТУ,*
контакт. тел. +7 (911) 915 3041

В судовых дизель-редукторных передачах в линию валопровода встраивают упругую муфту, чаще всего с резиновыми упругими элементами. Применение таких муфт упрощает центровку валопровода, поскольку они позволяют частично компенсировать смещение и изломы осей соединяемых валов, но одновременно создают проблемы с крутильными колебаниями. Дело в том, что эти муфты имеют относительно большую податливость при кручении. В результате под действием крутильных колебаний их упругие элементы испытывают знакопеременные деформации, которые в свою очередь снижают прочностные свойства резиновых элементов и вызывают их нагрев. Более того, с повышением температуры прочность резины еще более уменьшается, соответственно, растет вероятность разрушения муфты. По этой причине при проектировании валопровода ограничивают амплитуду крутящего момента, передаваемого муфтой, а также напряжения и температуру нагрева резиновых элементов. Их величины при установившихся крутильных колебаниях не должны превышать допустимых значений, установленных изготовителем муфты, иначе назначается запретная зона по частоте вращения [1].

Если определение двух первых параметров не вызывает больших затруднений, то расчетная оценка температуры резиновых элементов упругих муфт пока остается трудно решаемой задачей – просто отсутствует простая и надежная методика расчета, признанная Российским морским регистром судоходства. Ниже предпринята попытка предложить такую методику, основанную на общем приеме решения задач теплообмена, согласно которому процессы подвода и отвода теплоты рассматриваются независимо друг от друга. Естественно, такой подход снижает достоверность прогнозирования температуры, однако на начальных стадиях проектирования его правомочность не вызывает сомнений.

Таким образом, на основании теплового баланса количество теплоты, выделяемой в резиновом элементе упругой муфты, равно количеству теплоты, отводимой в окружающую среду, т.е. на установившемся режиме работы передачи должно выполняться равенство

$$Q_{\text{выд}} = Q_{\text{отд}}, \qquad (1)$$

где $Q_{\text{выд}}$ – количество теплоты, выделяемой резиновым элементом при знакопеременных деформациях, обусловленных крутильными колебаниями, $Q_{\text{отд}}$ – количество теплоты, отдаваемой муфтой.

Количество теплоты, выделяемой муфтой, однозначно определяется энергией поглощения, которая эквивалентна площади петли гистерезиса. Отношение упомянутой площади к максимальному значению потенциальной энергии деформации принято оценивать коэффициентом поглощения ψ. В общем случае коэффициент ψ зависит как от величины деформации, так и от частоты колебаний, хотя часто в упрощенных расчетах пренебрегают этой зависимостью и считают данный коэффициент константой. В частности, для технической резины коэффициент поглощения находится в пределах 0,1–0,25. Заметим, большие значения ψ положительно влияют на поглощение энергии, однако приводят к интенсивному нагреву резиновых элементов и быстрому их разрушению.

С учетом коэффициента поглощения выделяемую тепловую энергию за одно колебание можно выразить так [2]:

$$q_{\text{выд}} = 0{,}5\psi c\left(A_1 - A_2\right)^2, \qquad (2)$$

где c – крутильная жесткость муфты, Н·м; A_1 и A_1 – амплитуды колебаний (рад) ведущей и ведомой полумуфт соответственно, определяются в результате расчета вынужденных и резонансных крутильных колебаний валопровода.

Крутильную жесткость или ее обратную величину – крутильную податливость обычно приводят в технических условиях на поставку производители муфт. В случае отсутствия этих сведений крутильную жесткость приходится определять расчетом, в котором главное – это правильно выбрать формулу. Большое число расчетных формул связано с многообразием формы резинового элемента и способа его крепления к полумуфтам. Так, для муфты с резиновым элементом в виде кольца с прямоугольным или трапециевидным сечением крутильную жесткость допускается рассчитывать по формуле [3]

$$c = 4{,}17\cdot 10^4 \frac{\pi G_{\text{р}} D\left(D^3 - d^3\right)}{H},$$

где $G_{\text{р}}$ – модуль упругости резины, определяется в зависимости от твердости (рис.1); H, D, d – геометрические размеры резинового кольца (рис. 2).

Напомним, по формуле (2) можно подсчитать количество теплоты, выделяемой резиновым элементом упругой

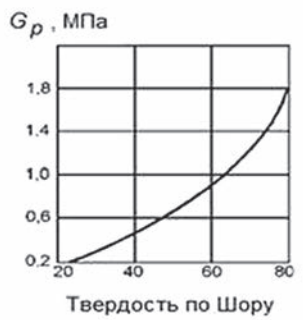


Рис. 1. ***Зависимость модуля упругости G_p от твердости резины***

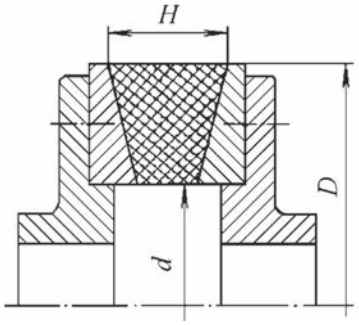


Рис. 2. ***Муфта с коническим резиновым элементом***

муфты за одно колебание. Соответственно, количество выделяемой теплоты, Вт, за одну секунду работы передачи на установившемся режиме

$$Q_{\text{выд}} = q_{\text{выд}}\, n_e,$$

где n_e – число свободных крутильных колебаний валопровода, Гц.

Теперь, считая решенной задачу по определению выделяемой муфтой теплоты, рассмотрим процесс отвода теплоты. В частном случае будем полагать, что теплота отводится от резинового элемента в воздух. Тогда на основании гипотезы Ньютона количество теплоты, отдаваемой в свободном (естественном) конвективном теплообмене, определяется как

$$Q_{\text{отв}} = \alpha\left(T_{\text{р}} - T_{\text{в}}\right)F, \qquad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^{2}К); $T_{\text{р}}$ и $T_{\text{в}}$ – температуры резинового элемента муфты и окружающего воздуха, F– площадь поверхности теплоотдачи резинового элемента в воздух, м^2.

Из (3) с учетом ранее упомянутого баланса теплоты вытекает искомое вы-

ражение для температуры резинового элемента муфты:

$$T_р = T_в + \frac{Q_{выд}}{\alpha F}. \qquad (4)$$

В качестве иллюстрации практического применения предлагаемых зависимостей ниже представлен расчет температуры резинового элемента муфты валопровода речного пассажирского судна длиной 98,2 м, шириной 14,6 м, высотой борта 4,2 м и осадкой 2 м. Энергетическая установка судна трехвальная. Каждая валовая линия идентична и включает в себя: двигатель S6R2-T2MPTK (6ЧН17/22) фирмы Mitsubishi мощностью по ISO3046 480 кВт при 1350 мин$^{-1}$, упругую соединительную муфту CENTA CX-066-NLFS-70Sh с резиновым элементом CENTAFLEX, одноступенчатый реверсивный редуктор ZF-3000 с передаточным отношением 2,773 и встроенным упорным подшипником, гребной вал и пятилопастной гребной винт фиксированного шага диаметром 1,4 м.

В результате расчета свободных крутильных колебаний были установлены несколько резонансных режимов, из них наиболее значимым оказался резонанс 1,5 порядка двухузловой формы колебаний с частотой n_e = 29,645 Гц. Соответственно, резонансная частота вращения дизеля 29,645 =1186 мин$^{-1}$. Расчет резонансных колебаний показал, что разность между амплитудами колебаний ведущей и ведомой полумуфт составляет $\Delta A = 1{,}109 \cdot 10^{-2}$ рад. По данным изготовителя муфты, ее коэффициент демпфирования $\psi = 0{,}152$, крутильная жесткость $c = 86{,}1 \cdot 10^3$ Н·м.

При указанных исходных данных количество теплоты, выделяемой муфтой за одну секунду,

$$Q_{выд} = 0{,}5\psi c \Delta A^2 n_e = 0{,}5 \cdot 0{,}152 \cdot 86{,}1 \times$$
$$\times 10^3 \cdot 1{,}109 \cdot 10^{-2} \cdot 29{,}645 = 23{,}858 \text{ Вт}.$$

Тогда по формуле (4) температура нагрева резинового элемента муфты

$$T_р = T_в + \frac{Q_{выд}}{\alpha F} = 30 + \frac{23{,}858}{4 \cdot 0{,}6} = 39{,}94 \approx 40 \text{ °C}.$$

Допустимая температура составляет 50 °С.

При вычислении температуры принято: коэффициент теплоотдачи в воздух при естественной конвекции α =4 Вт/(м^{2}К); свободная площадь теплоотдачи F = 0,6,1 м^2, температура воздуха в машинном отделении судна $T_в = 30$ °С.

Рассмотренный пример чрезмерно упрощен, так как в нем исходили из постоянного значения теплоты, выделяемой муфтой. В действительности эта теплота будет переменной величиной, зависящей от температуры нагрева резинового элемента муфты. Данная зависимость выражается через прочностные, упругие и диссипативные свойства резины, которые изменяются при повышении температуры. Так, при нагреве прочность, твердость и крутильная жесткость резинового элемента уменьшаются, а поглощение энергии растет. Зависимость жесткости резины от температуры имеет вид

$$c_t = c_{20}\left(\left[\frac{20}{t}\right]\right)^{0,3},$$

где c_t и c_{20} – крутильные жесткости при интересующей температуре t и температуре 20 °С.

Примерно такое же влияние оказывает температура на модуль сдвига резины. Он с повышением температуры уменьшается.

Экспериментальных данных о влиянии температуры на величину коэффициента поглощения резины сравнительно мало. Аппроксимация существующих данных позволила получить следующее уравнение:

$$\psi_t = \psi_{20} + 4{,}5 \cdot 10^{-3}(t - 20),$$

где ψ_t и ψ_{20} – коэффициенты поглощения резины при интересующей температуре t и температуре 20 °С.

Количество отведенной от муфты теплоты также является переменной величиной, зависящей в основном от коэффициента теплоотдачи, который в свою очередь зависит от температуры, точнее от температурного напора $\Delta T = T_р - T_в$. Из имеющихся в литературе эмпирических формул для функции $\alpha = f(t)$ наиболее привлекательной по своей простоте является следующая:

$$\alpha_t = A\sqrt[3]{\Delta T},$$

где A – коэффициент, аргументом которого служит средняя температура $T_м = 0{,}5(T_р + T_в)$,

$$A = 1{,}45 - 3{,}1 \cdot 10^{-3} T_м.$$

В условиях, когда расчетные зависимости содержат величины, зависящие от искомой температуры, определять температуру нагрева резинового элемента соединительной муфты проще итерационным путем. Сначала искомой температурой задаются ориентировочно. Далее следует вычислительный процесс, в результате которого заданная ранее температура уточняется. Условием завершения итераций будет равенство температур в начале и в конце расчета. Иногда с целью уменьшения итераций строят графические зависимости функций $Q_{выд} = f(T)$ и $Q_{отв} = f(T)$ [4]. Абсцисса точки их пересечения характеризует максимальную температуру нагрева упругого элемента муфты.

Пользуясь данным приемом и беря за основу исходные данные (см. таблицу) рассмотренного выше примера, определим температуру нагрева резинового элемента муфты с учетом приведенных зависимостей для теплофизических свойств резины от температуры. Результаты соответствующих расчетов приведены в таблице и отражены графически на рис. 3. Видно, что наибольшая температура нагрева резинового элемента на резонансной частоте вращения муфты составляет 37 °С. Это значение практически совпадает с ранее полученной величиной, равной 39,94 °С.

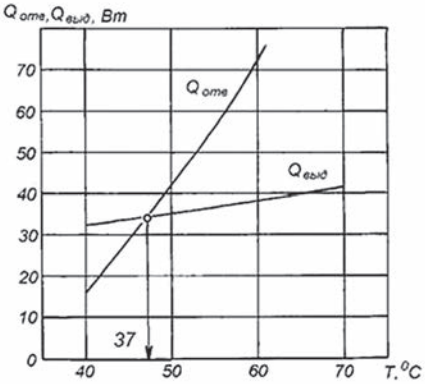


Рис. 3. ***Графический способ определения температуры упругого элемента муфты***

Из их равенства следует два вывода:

- учет влияния температуры на теплофизические свойства резины практически не сказывается на конечный результат – температуру нагрева муфты;
- расчетную оценку температуры нагрева резинового элемента муфты допустимо выполнять, используя справочные данные о теплофизических свойствах резины.

Таблица

Количество выделяемой и отводимой теплоты в функции от температуры резинового элемента муфты

Температура, °С	Крутильная жесткость, Н·м	Коэффициент поглощения	Выделяемая теплота, Вт	Коэффициент A	Коэффициент теплоотдачи, Вт/(м^{2}град.)	Отводимая теплота, Вт
40	69 934	0,242	30,852	1,342	2,890	17,340
50	65 406	0,287	34,220	1,326	3,599	43,188
60	61 925	0,332	37,479	1,311	4,072	73,296
70	59 126	0,377	40,635	1,295	4,429	106,296

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенное можно рассматривать как методику, позволяющую определять температуру нагрева резиновых элементов упругих муфт от действия крутильных колебаний. Тем самым еще на стадии проектирования судового движительного комплекса удается гарантировать безопасную работу соединительных муфт. Основу методики составляет баланс теплоты, подведенной к муфте и отведенной от нее. На примере конкретного судового валопровода с муфтой CENTA CX-066-NLFS-70Sh с резиновым элементом CENTAFLEX показано практическое применение предлагаемой методики. В частности, при резонансе 1,5 порядка двухузловой формы колебаний с частотой n_e = 29,645 Гц температура нагрева резинового элемента составила: без учета зависимости теплофизических характеристик резины от температуры – 40 °С, а с учетом этой зависимости – 37 °С. Допустимая температура нагрева муфты – 50 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нелинейные задачи динамики и прочности машин/ Под общей ред. В.Л. Вейца. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – 336 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства. – Ч. 7: Механические установки. – СПб., 2020.
3. *Румб В.К.* Прочность судового оборудования. Конструирование и расчеты прочности судовых валопроводов: учебник. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2008. – 298 с.
4. *Сахаров А.Б.* Защита судовых валопроводов от крутильных колебаний. – М.: Транспорт, 1988. – 117 с.

РАССМОТРЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СООТНОШЕНИЙ ВЕЛИЧИН ДАВЛЕНИЙ В ПОЛОСТЯХ ГИДРОЦИЛИНДРОВ РУЛЕВЫХ МАШИН ПРИ ДРОССЕЛЬНОМ РЕГУЛИРОВАНИИ

Ю.В.Копытов, *гл. конструктор ЗАО «ЦНИИ СМ»,*
М.А.Шахнов, *начальник сектора,*
А.Н. Викторов, *конструктор 2-й категории, АО «ЦКБ МТ «Рубин»,*
контакт. тел. +7 (911) 749 2708, +7 (904) 639 3728, +7 (921) 589 2126

Рассматривая простейшую схему подключения гидроцилиндров рулевой машины (РМ) к насосно-аккумуляторной установке (НАУ) в зависимости от различных вариантов получения питания, а именно: от рулевой системы гидравлики (РСГ) либо от системы гидравлики внешних приводов (СГВП), следует отметить следующее:

1. Перемещение поршня гидроцилиндра РМ в том или ином направлении может происходит в результате одностороннего воздействия на него либо рабочей среды (жидкости), подаваемой в полость гидроцилиндра от НАУ, РСГ или СГВП, либо от воздействия внешней нагрузки, превышающей рабочее усилие гидроцилиндра.

2. Скорость перемещения поршня гидроцилиндра РМ зависит:
- от величины расхода рабочей среды, поступающей от НАУ, РСГ или СГВП;
- от гидравлических сопротивлений в системе;
- от механических сопротивлений в приводе к баллеру РМ;
- от сил на штоке гидроцилиндра, создаваемых внешней нагрузкой.

В случае, когда внешняя нагрузка преодолевается поршнем гидроцилиндра РМ от воздействия на него давления рабочей среды, гидроцилиндр РМ является потребителем гидравлической энергии.

В случае, когда внешняя нагрузка перемещает поршень гидроцилиндра РМ в ту же сторону, что и силы от воздействия рабочей среды (попутная нагрузка), гидроцилиндр РМ является, как и НАУ, РСГ, СГВП, источником гидравлической энергии, и в этом случае система имеет два источника питания.

Если величина механического сопротивления перемещения поршня гидроцилиндра РМ будет соответствовать величине давления рабочей среды, поступающей от НАУ, РСГ или СГВП, скорость перемещения поршня будет находиться в заданных пределах. Однако на практике учесть с достаточной точностью и достоверностью все компоненты как механических, так и гидравлических сопротивлений весьма проблематично, поэтому в систему включают гидравлическое сопротивление – дроссель.

Если рассматривать гидроцилиндр РМ как потребителя гидравлической энергии (когда он преодолевает нагрузку), то для обеспечения условия непрерывности потока жидкости, проходящей по гидросистеме, место установки (расположения) дросселя не имеет значения. При использовании гидроцилиндра РМ в составе привода к баллеру корабельного руля нагрузка на поршень гидроцилиндра РМ может изменяться в широком диапазоне как по величине, так и по направлению (по знаку). В этом случае гидроцилиндр РМ может работать и как потребитель гидравлической энергии, и как ее источник. Таким образом, систему следует рассматривать в качестве системы с двумя источниками энергии: один постоянный источник – НАУ (РСГ, СГВП), другой, периодически действующий,– гидроцилиндр РМ. В этом случае место установки дросселя имеет существенное значение.

С целью определения величин колебаний скорости перемещения поршня гидроцилиндра РМ и давлений на отдельных участках системы ниже рассмотрен общий случай, когда дросселирование производится на напорной и сливной магистралях, а затем частные случаи. Для этого введем обозначения:

$P_а$ – давление рабочей жидкости, поступающей от НАУ (РСГ, СГВП);

$P_с$ – противодавление в сливной магистрали;

$P_ц$ – давление, возникающее в системе от воздействия на поршень внешней нагрузки;

$\Delta P_а$ – потери давления в напорном трубопроводе;

$\Delta P_с$ – потери давления в сливном трубопроводе;

$\Delta P_{др.нап.}$ – потеря (падение) давления на дросселе, установленном на напорном трубопроводе;

$\Delta P_{др.слив.}$ – потеря (падение) давления на дросселе, установленном на сливном трубопроводе линии;

$\Delta P_{поршня}$ – падение давления на поршне гидроцилиндра РМ от механического сопротивления при его перемещении.

Давление в напорной полости гидроцилиндра определяется как

$$P_{\text{нап.пол.}} = P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{др.нап.}}$$

Давление в сливной полости гидроцилиндра

$$P_{\text{сл.пол.}} = P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{др.слив.}}$$

Разность давлений в напорной и сливной полостях гидроцилиндра определяется соотношением

$$P_{\text{нап.пол.}} - P_{\text{сл.пол.}} = \Delta P_{\text{поршня}} \pm P_{\text{ц}}. \quad (1)$$

Знак при показателе $P_{\text{ц}}$ определяется характером работы гидроцилиндра. При работе гидроцилиндра под положительной нагрузкой (преодоление поршнем внешнего усилия) величина $P_{\text{ц}}$ имеет положительное значение, при работе гидроцилиндра под отрицательной нагрузкой (движение поршня гидроцилиндра под воздействием внешней нагрузки) этот показатель $P_{\text{ц}}$ имеет отрицательное значение.

В последнем случае выражение (1) можно записать в форме

$$P_{\text{нап.пол.}} = P_{\text{сл.пол.}} + \Delta P_{\text{поршня}} - P_{\text{ц}},$$

где правая часть равенства характеризует гидроцилиндр как источник питания.

Раскрывая значения $P_{\text{нап.пол.}}$ и $P_{\text{сл.пол.}}$, получаем уравнение, характеризующее зависимость распределения давлений на участках гидросистемы с двумя источниками питания:

$$P_{\text{а}} = \Delta P_{\text{а}} + \Delta P_{\text{др.нап.}} + \Delta P_{\text{др.слив.}} + P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{поршня}} \pm \text{Р}_{\text{ц}}. \quad (2)$$

или

$$P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{др.нап.}} = \Delta P_{\text{др.слив.}} + P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{поршня}} \pm P_{\text{ц}}.$$

Анализируя полученное уравнение, отметим следующее:

1. При работе гидроцилиндра под положительной нагрузкой и его холостом ходу, когда значение $P_{\text{ц}}$ положительно или равно нулю, суммарная величина падения давления на дросселях всегда меньше величины давления, подаваемого от НАУ (РСГ, СГВП), т.е.

$$\Delta P_{\text{др.нап.}} + \Delta P_{\text{др.слив.}} < P_{\text{а}}.$$

2. При работе гидроцилиндра под отрицательной нагрузкой, когда значение $P_{\text{ц}}$ отрицательно, суммарная величина падения давления на дросселях может быть как меньше величины давления, подаваемого от НАУ (РСГ, СГВП), так и больше него. В этом случае в напорной полости гидроцилиндра возможно падение давления ниже атмосферного, т.е. в напорной полости гидроцилиндра произойдет разрыв потока жидкости. Это явление характеризуется соотношениями

$$P_{\text{нап.пол.}} < 0 \text{ или } P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{др.нап.}} < 0,$$

$$P_{\text{а}} < \Delta P_{\text{а}} + \Delta P_{\text{др.нап.}},$$

$$P_{\text{ц}} > \Delta P_{\text{поршня}} + \Delta P_{\text{др.слив.}} + P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{с}}.$$

Граничными условиями отсутствия разрыва потока жидкости являются нижеперечисленные равенства:

$$P_{\text{нап.пол.}} = 0,$$

$$P_{\text{а}} = \Delta P_{\text{а}} + \Delta P_{\text{др.нап.}}, \quad (3)$$

$$P_{\text{ц}} = \Delta P_{\text{поршня}} + \Delta P_{\text{др.слив.}} + P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{с}}, \quad (4)$$

$$Q_1 = Q_2,$$

где Q_1 – расход рабочей среды через дроссель, установленный на напорной магистрали, Q_2 – расход рабочей среды через дроссель, установленный на сливной магистрали

Зависимость расхода рабочей среды через дроссель от величины падения давления на нем выражается формулой

$$Q = kf\sqrt{\Delta P},$$

где k – коэффициент, зависящий от вязкости рабочей среды и конструкции дросселя, f – проходное сечение дросселя, ΔP – величина падения давления на дросселе.

Скорость перемещения поршня

$$U = \frac{Q}{Fn},$$

где Q – расход рабочей жидкости, подаваемой в гидроцилиндр, U – линейная скорость, F_n – рабочая площадь поршня.

В результате $U = \dfrac{k \cdot f\sqrt{\Delta P}}{Fn}$.

Как очевидно из приведенной формулы, скорость перемещения поршня U при постоянной вязкости рабочей среды является функцией величины падения давления на дросселе.

Исходя из граничных условий неразрывности потока жидкости (3) и (4) при воздействии на поршень отрицательной нагрузки, пределы изменения скорости перемещения поршня (от $U_{\min}$ до $U_{\max}$) при работе гидроцилиндра под знакопеременной нагрузкой выражаются формулами:

$$U_{\max} = \frac{K_3 f_3\sqrt{P_{\text{а}} - \Delta P}}{F_n} = \frac{K_3 f_3\sqrt{P_{\text{ц}} - \Delta P_{\text{поршня}} - \Delta P_{\text{с}} - P_{\text{с}}}}{F_n}.$$

В отсутствии внешней нагрузки, учитывая (2), скорость перемещения поршня на холостом ходу

$$U_{\text{хол.х}} = \frac{K_3 f_3\sqrt{P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{поршня}} -}}{F_n} \rightarrow \leftarrow \frac{\overline{-\Delta P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{др.слив}} - P_{\text{с}}}}{F_n}.$$

При воздействии внешней нагрузки, учитывая (2), минимальная скорость перемещения поршня

$$U_{\min} = \frac{K_3 f_3\sqrt{P_{\text{а}} - P_{\text{ц}} - \Delta P_{\text{поршня}} -}}{F_n} \rightarrow \leftarrow \frac{\overline{-\Delta P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{с}} - \Delta P_{\text{др.слив}} - P_{\text{с}}}}{F_n}.$$

Максимально возможное значение

$$P_{\text{ц}}^{\max} = P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{поршня}} - P_{\text{с}}$$

при условии равенства гидравлического сопротивления в системе:

$$-\Delta P_{\text{а}} + \Delta P_{\text{с}} = 0.$$

Подставляя полученное значение $P_{\text{ц}}$ в вышеприведенную формулу (4), получаем

$$P_{\text{ц}} = \Delta P_{\text{поршня}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{др.слив.}} + P_{\text{с}}$$

и определяем минимально необходимую величину падения давления на дросселе, установленном на сливной магистрали, обеспечивающую отсутствие разрыва потока рабочей жидкости при воздействии на поршень максимальной отрицательной нагрузки:

$$\Delta P_{\text{др.слив.}} = P_{\text{а}} - 2(\Delta P_{\text{поршня}} + P_{\text{с}}) - \Delta P_{\text{с}}.$$

Подставляя в данное выражение значение $P_{\text{а}}$ согласно формуле (3) получаем

$$\Delta P_{\text{др.слив.}} = \Delta P_{\text{др.нап.}} + (\Delta P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{с}}) - 2(\Delta P_{\text{поршня}} + P_{\text{с}}).$$

Данное соотношение определяет долю падения давления на каждом из дросселей.

Анализируя его, следует сделать следующие выводы:

а) учитывая, что гидравлические сопротивления напорного и сливного трубопровода практически всегда равны ($\Delta P_{\text{а}} - \Delta P_{\text{с}} = 0$), а падение давления на поршне $\Delta P_{\text{поршня}}$ характеризует механический КПД привода, минимально необходимая для обеспечения неразрывности потока рабочей жидкости величина падения давления на дросселе в сливной магистрали будет тем меньше, чем выше механический КПД привода и чем выше противодавление в сливной магистрали;

б) доля падения давления на дросселе, установленном в сливной магистрали, не должна превышать 50% суммарной величины давления на обоих дросселях.

Результаты проведенных в данной статье теоретических исследований позволяют:

- определить оптимальный вариант установки дросселей в гидросистеме привода к баллеру рулевых устройств на заказах.
- разработать рекомендации по настройке установленных в гидросистеме дросселей в соотношении, обеспечивающем наряду с необходимой гидравлической жесткостью системы наиболее благоприятные условия распределения давления в полостях гидроцилиндра РМ.

Рекомендованное соотношение величин падения давления на дросселях позволяет снизить среднюю величину давления в гидросистеме при работе на долевых нагрузках по сравнению с принятым ранее соотношением примерно в 2 раза, что оказывает существенное влияние на повышение надежности и долговечности гидропривода. ■

СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ НАГРУЖЕННОСТИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗА СЧЕТ УСТАНОВКИ ДИССИПАЦИОННО-УПРУГОГО ЗВЕНА С ОПТИМАЛЬНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Н.В. Бабанин, *канд. техн. наук, доцент СПбГМТУ,*
контакт. тел. +7 (904) 518 7066

В настоящее время энергетические установки большинства надводных кораблей флотов развитых стран оснащены газотурбинными двигателями (ГТД). ГТД входят в состав как единых газотурбинных энергетических установок, так и комбинированных дизель-газотурбинных энергетических установок. Основными преимуществами ГТД являются высокая экономичность, большие агрегатные мощности при малой массе и габаритах, приспособленность к автоматизации, высокая надежность, простота конструкции и обслуживания, высокая технологичность, возможность агрегатного ремонта. Все эти качества были достигнуты в результате упорных и длительных поисков ученых и конструкторов. И только сегодня, при достаточно высоком уровне развития газотурбостроения, можно оценить, сколь высок вклад отечественных ученых и инженеров в создание высокоэффективных корабельных ГТУ, не имеющих альтернативы не только в настоящее время, но и в обозримом будущем. Но, несмотря на столь значимые успехи, необходимо и далее совершенствовать техническую сторону исследуемого вопроса, а точнее разрешить некоторые проблемы работы ГТД.

В процессе проектирования требования к динамической прочности тех или иных деталей ГТД сводятся к отстройке собственных частот этих деталей от опасных резонансных частот во всем диапазоне рабочих режимов двигателя. При этом степень опасности различных резонансов определяется, как правило, только на основании накопленного опыта или качественного анализа особенностей конструкции данного ГТД без расчетной оценки возможной величины динамических напряжений в его основных деталях. Следует, однако, отметить, что в судовых ГТД вследствие их многорежимности, не удается избежать всех опасных резонансов.

Теоретический анализ динамических особенностей проектируемого двигателя и результатов соответствующих расчетов, тем не менее, позволяет существенно уменьшить вероятность появления опасных колебаний и помогает, в случае необходимости, найти в процессе доводки двигателя быстрые и наиболее надежные способы их устранения.

В настоящее время ведутся теоретические исследования, направленные на разработку методов расчетной оценки возможного уровня динамических напряжений в основных деталях ГТД. Однако внедрение подобных расчетов в практику проектирования тормозится невозможностью достаточно точной оценки как возмущающих сил, так и сил демпфирования колебаний.

Таким образом, проблема оптимизации параметров вибрации остается актуальной, и требуется нахождение путей ее решения. Для этого проведем анализ конструкций различных деталей и механизмов, выявим их недостатки, а также модернизируем ГТД за счет установки диссипирующего упругого звена в разрез вала между турбинным и компрессорным колесом с последующим теоретическим обоснованием эффективности такой установки.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЯЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Вариант 1: вал (рис.1), соединяющий компрессор и турбину, является полым цилиндром *2*, расположенным на подшипниках *4, 5* [1]. Составной полый вал ГТД содержит три участка, которые жестко соединены между собой.

Средний участок *3* выполнен из титана, причем его длина выбрана в пределах 0,5–0,7 длины всего составного вала, а его диаметр – в пределах 1,15–1,25 диаметров крайних участков тела вала. Изобретение позволяет повысить критическую частоту вращения вала, а также уменьшить вес вала.

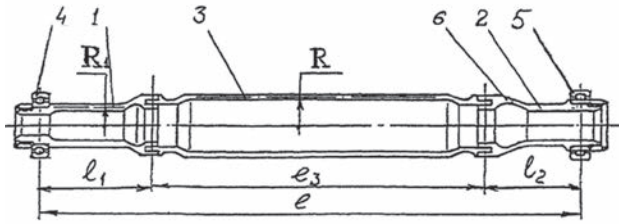


Рис. 1. ***Полый вал ГТД***

Недостатки: полностью отвечая своему предназначению, вал очень труден в изготовлении, поскольку сложно выполнить центровку внутреннего отверстия, чтобы стенки полого вала имели одну толщину. Разная толщина стенок вала вызываетего дисбаланс, а это нежелательно.

Вариант 2: узел соединения роторов компрессора и турбины ГТД содержит промежуточный вал, охватывающий полые шлицевые хвостовики роторов компрессора *1* и турбины *2*, снабженный буртиком, и резьбовой стяжной элемент, установленный на конце шлицевого хвостовика ротора турбины, причем на промежуточном вале есть радиально-упорный подшипник, размещенный напротив хвостовика ротора компрессора. Данный узел соединения роторов компрессора и турбины ГТД повышает надежность конструкции (рис. 2).

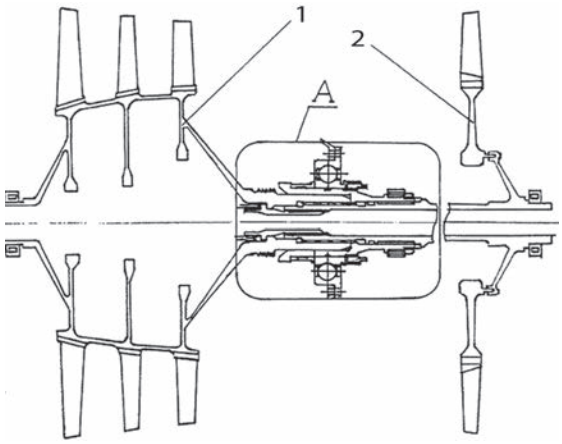


Рис. 2. ***Узел соединения роторов ГТД***

Недостатки: значительная сложность сборки, а также отсутствие разгрузки осевых сил, действующих на радиально-упорный подшипник, установленный на промежуточном валу, так как только шлицевой хвостовик ротора турбины заведен в шлицы промежуточного вала и затянут гайкой через упорный буртик. Шлицевой хвостовик ротора компрессора просто заведен в шлицы промежуточного вала и не стянут с ним. Поэтому осевая сила от компрессора не передается на радиально-упорный подшипник и не разгружает его от действия осевых сил ротора турбины. Осевая сила от компрессора воспринимается другим радиально-упорным подшипником, установленным на наружном диаметре корпуса компрессора [2].

Вариант 3: ротор компрессора ГТД состоит из вала *2* с установленными на нем с помощью шлиц дисками *1*, соединенными между собой по ступицам *3* с помощью передней и задней гаек 7, 8. Изобретение (рис. 3) относится к роторам компрессоров ГТД наземного и авиационного применения.

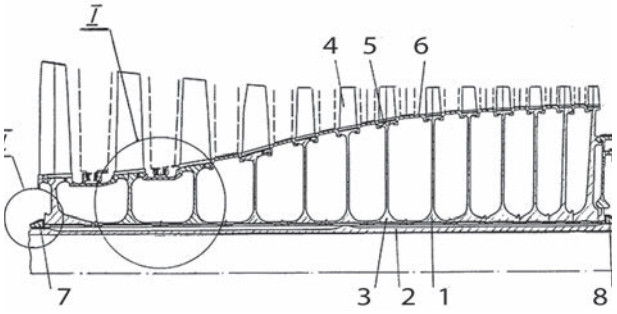


Рис. 3. Ротор компрессор ГТД

Недостаток этой конструкции – отсутствие в роторе упругих в осевом направлении элементов, из-за чего возможно появление осевых зазоров между ступицами дисков, в частности, на переходных режимах работы двигателя, несмотря на затяжку гаек, особенно при большом количестве дисков. Все это приводит к снижению надежности конструкции.

В связи с наличием существенных недостатков у всех вариантов, автор предлагает новое решение по их устранению путем установки на валу ГТД диссипирующего упругого звена (ДУЗ), которое обладает упругими и диссипирующими свойствами. Однако необходимо отметить, что на данном этапе имеет место только теоретическое обоснование предложенной идеи, так как экспериментов, подтверждающих эффективность и работоспособность предложенной установки, автору выполнить пока не удалось.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Рассмотрим первое звено (газотурбинное колесо). Условие установившихся режимов работы ГТД можно представить в виде уравнения

$$M_т = M_c, \qquad (1)$$

где $M_т$ – момент газотурбинного колеса ГТД; M_c – момент сопротивления со стороны нагрузки.

Под неустановившимся режимом понимается такой режим работы ГТД, при котором ГТД вырабатывает либо избыточное, либо недостаточное количество энергии, в связи с чем число оборотов его вала и другие параметры изменяются во времени. Нарушение установившегося режима работы ГТД может произойти как в результате изменения крутящего момента, так и изменения момента сопротивления [5]. Наиболее часто ГТД представляют в виде элементарной модели: одним звеном с входом (момент $M_т$) и выходом (моментом двигателя $M_{1.2}$), показанным на рис. 4.

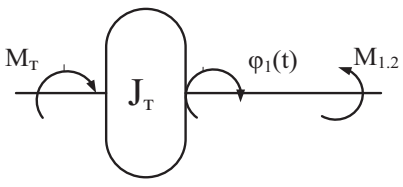


Рис. 4. ***Элементарная расчетная схема ГТД***

Дифференциальное уравнение движения турбинного колеса в этом случае запишется в следующем виде:

$$J_т \frac{d\omega_1}{dt} = M_т - M_{12}, \qquad (2)$$

где $J_т$ – момент инерции турбинного колеса; M_{12} – момент сопротивления ГДТ.

Рассмотрим второе звено (диссипационно-упругий элемент). Схема расположения ДУЗ привода представлена на рис. 5.

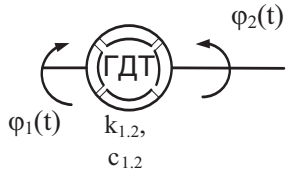


Рис. 5. ***Схема расположения ДУЗ привода***

Дифференциальное уравнение упругодемпфирующей связи системы, представленной на рис. 5, можно записать в следующем виде:

$$M_{12} = k_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2). \qquad (3)$$

где M_c – момент сопротивления со стороны нагрузки; k_{12}, c_{12} – коэффициент демпфирования и жесткость ГДТ; φ – угол закрутки, рад.

Далее составим модель из соответствующих звеньев (рис. 6).

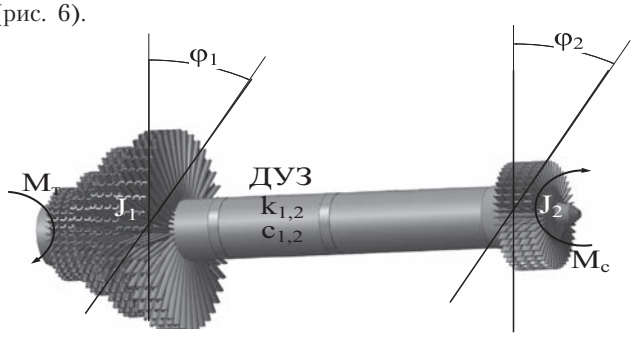


Рис. 6. ***Принципиальная схема ГТД с ДУЗ***

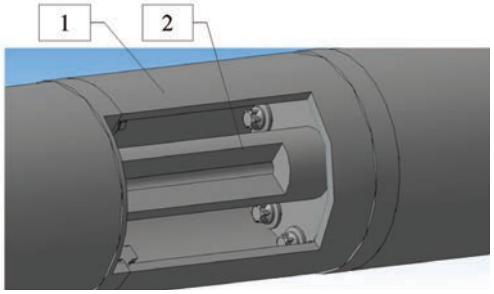


Рис. 7. ***Диссипационно-упругое звено звено ДУЗ***
1 – демпфирующий элемент; 2 – упругий элемент

После составления принципиальной схемы запишем систему дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} k_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = M_{12}; \\ J_т\ddot{\varphi}_1 + k_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = M_т; \\ J_к\ddot{\varphi}_2 - k_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = -M_c, \end{cases} \qquad (4)$$

где J_1, J_2 – моменты инерции газотурбинного и компрессорного колеса ГТД; φ_1, φ_2 – угол поворота вала турбинного и угол поворота компрессорного колеса (ГТД); k_{12}, c_{12} – коэффициент демпфирования и жесткость ДУЗ; $M_т$, M_c – соответственно крутящий момент газотурбинного колеса и момент внешних сопротивлений движению

Примем, что момент турбинного колеса ГТД является суммой двух составляющих:

$$M_т(\omega_1) = M_{т0} + \Delta M_т(\omega_1), \qquad (5)$$

где $M_{т0}$ – постоянная составляющая крутящего момента турбинного колеса ГТД; $\Delta M_т(\omega_1)$ – переменная составляющая момента, обусловленная случайными колебаниями момента нагрузки $\Delta M_c(\omega_1)$.

Момент сопротивления M_c является случайной функцией времени M_c=$M(t)$, которую можно представить в виде суммы двух составляющих:

$$M_c(\omega_1) = M_{c0} + \Delta M_c(\omega_1), \qquad (6)$$

где M_{c0} соответствует некоторому равновесному состоянию системы, не зависящему от времени, а его отклонение $\Delta M_c(t)$ является воздействием на динамическую систему и выражается в виде случайной функции отклонения крутящего момента от среднего значения, изменяющегося во времени.

Соответственно углы поворота газотурбинного и компрессорного колеса модели запишутся как

$$\begin{cases} \varphi_{10} + \Delta\varphi_1 = \varphi_1(t); \\ \varphi_{20} + \Delta\varphi_2 = \varphi_2(t), \end{cases} \quad (7)$$

где $\Delta\varphi_1$, $\Delta\varphi_2$ – переменные составляющие углов поворота, обусловленные переменными составляющими моментов в выражениях; φ_{10}, $\Delta\varphi_{20}$ – установившиеся значения углов закрутки.

Так как система дифференциальных уравнений (4) имеет малую нелинейность, ею можно пренебречь. В результате подстановки уравнения (7) в динамическую модели уравнения (4) и (3), и деление переменных получим две системы уравнений, одна из которых описывает установившийся режим работы агрегата:

$$\begin{cases} c_{12}(\varphi_{10}) = M_{т0}; \\ c_{12}(\varphi_{20}) = -M_{c0}. \end{cases} \quad (8)$$

а другая – режим малых колебаний относительно установившегося режима, уравнение (9):

$$\begin{cases} J_т\Delta\ddot{\varphi}_1 + k_{12}(\Delta\dot{\varphi}_1 - \Delta\dot{\varphi}_2) + c_{12}(\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2) = 0; \\ J_к\Delta\ddot{\varphi}_2 - k_{12}(\Delta\dot{\varphi}_1 - \Delta\dot{\varphi}_2) - c_{12}(\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2) = -\Delta M_c. \end{cases} \quad (9)$$

Применим преобразования Лапласа при нулевых условиях Коши и упростим выражения. В результате получим

$$\begin{cases} J_т\Delta\ddot{\varphi}_1 + k_{12}\cdot\Delta\dot{\varphi}_1 - k_{12}\cdot\Delta\dot{\varphi}_2 + c_{12}\cdot\Delta\varphi_1 - c_{12}\cdot\Delta\varphi_2 = 0; \\ J_к\Delta\ddot{\varphi}_2 - k_{12}\cdot\Delta\dot{\varphi}_1 + k_{12}\cdot\Delta\dot{\varphi}_2 - c_{12}\cdot\Delta\varphi_1 + c_{12}\cdot\Delta\varphi_2 = -\Delta M_c, \end{cases} \quad (10)$$

где $T(s)=(J_т s^2 + k_{12}s + c_{12})$; $P_1(s)=(k_{12}s+c_{12})\cdot\Delta\varphi_2$; $P_2(s)=(k_{12}s+c_{12})\cdot\Delta\varphi_1$; $K(s)=(J_k s^2 + k_{12}s + c_{12})$; $\Delta M_c(s)=\dfrac{s}{(s^2+\omega^2)}$; $s = j\omega$ – комплексная переменная преобразования Лапласа.

Далее звено ГДТ [см. формулу (3)] воспринимает выходные величины углов закрутки звеньев модели $\Delta\varphi_1(s)$, $\Delta\varphi_2(s)$, соответственно передаточную функцию запишем как

$$\Delta M_{12}(s) = P_1(s)\cdot\frac{(T(s)-P_1(s))\cdot\Delta M_c(s)}{(K(s)\cdot T(s)-P_1(s)\cdot P_2(s))}. \quad (11)$$

Передаточная функция $W(s)$ представляет собой отображение по Лапласу переменной составляющей момента нагрузки, как выходная величина $\Delta M_{12}(s)$ и отображение по Лапласу момента дополнительной нагрузки на турбинное колесо, как входная величина $\Delta M_C(s)$ может быть получена следующим образом:

$$W(s) = \frac{\Delta M_{12}(s)}{\Delta M_C(s)}.$$

Амплитуда колебания момента закрутки ГДТ $M(s)$

$$\Psi(s) = \left|\Delta M_{12}(j\omega)\right|^2. \quad (12)$$

Далее приведем обратное преобразование Лапласа и по формуле (11) найдем временные зависимости реакции отклика системы:

$$\begin{aligned} P=&0{,}9999000100\cdot(-1.\cdot k/((J+J_2)\cdot(-4.\cdot J\cdot J_2\cdot c+J\cdot k^2+J_2\cdot k^2))^{1/2})\times \\ &\times\exp(-0{,}5\cdot k\cdot(J+J_2)/J/J_2\cdot t)\cdot\sinh(0{,}5\cdot t/J/J_2\times \\ &\times((J+J_2)\cdot(-4\cdot J\cdot J_2\cdot c+J\cdot k^2+J_2\cdot k^2))^{1/2}))+(-1.\cdot\cosh(.5\cdot t/J/J_2\times \\ &\times((J+J_2)\cdot(-4\cdot J\cdot J_2\cdot c+J\cdot k^2+J_2\cdot k^2))^{1/2}))\times \\ &\times\exp(-0.5\cdot k\cdot(J+J_2)/J/J_2\cdot t)+1.)/(J+J_2)). \end{aligned} \quad (13)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 8 в качестве примера приведем расчет амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) с помощью программы Maple по выражению (12) при следующих данных:

$$J_т = 0{,}018;\ k_{12} = 0{,}002;\ c_{12} = 597.$$
$$J_к = 0{,}027;\ k_{12} = 0{,}1;\ c_{12} = 200.$$

Из рис. 8 видно, что кривая *1* имеет явно выраженный резонансный пик на частоте 16,67 с$^{-1}$. Со снижением величины жесткости вала ГТД за счет применения ДУЗ резонансный пик АЧХ уменьшается и перемещается в зону низких частот.

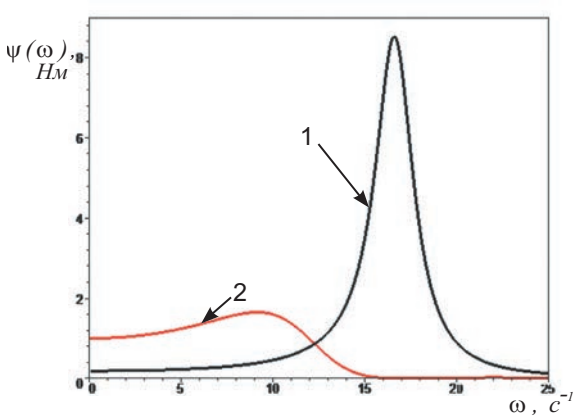


Рис. 8. ***АЧХ механической системы ГТД:***
1 – базовый вариант ГТД; 2 – опытный вариант ГТД с ДУЗ

Кривая *2* имеет явно выраженный резонансный пик на частоте 9,74 с$^{-1}$. Уменьшение или увеличение коэффициента демпфирования k_{12} приводит только к соответствующему увеличению или уменьшению амплитуды резонансного пика, не влияя на резонансную частоту. Поскольку, согласно (12), амплитуда колебаний момента двигателя определяется изменением жесткости и коэффициента демпфирования вала ГТД за счет применения ДУЗ, можно изменять АЧХ ГТД. Исходя из того, что основным назначением ДУЗ является снижение амплитуды колебаний нагрузки на валу ГТД, критерии оптимальности ДУЗ могут быть сформулированы в следующем виде:

1. Величина дисперсии АЧХ нагрузки ГТД должна быть минимальна:

$$\Psi(s) = \min, \quad (14)$$

и чем меньше эта величина, тем лучше работает ГТД.

2. Согласно теории автоматического управления необходимым и достаточным условием устойчивости данной системы по Гурвицу является положительное значение коэффициентов характеристического уравнения и $a_i > 0$ (при $a = 0$ система неустойчива), построенного по характеристическому многочлену передаточной функции системы

$$a_0 s^2 + a_1 s + a_2 = 0; \quad (15)$$
$$0{,}4\cdot s^2 + 0{,}6\cdot s + 180 = 0.$$

Главный определитель Гурвица и все его диагональные миноры должны быть больше нуля:

$$a_0 > 0;\ a_1 > 0;\ a_2 > 0;$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 \cdot a_2 = 0{,}144 > 0.$$

Исходя из (15), целевая функция выбора оптимального значения параметров ГДТ F может быть записана в следующем виде:

$$F(k_{12}, c_{12}) = \alpha_1\Psi + \alpha_2\Phi = \min, \quad (16)$$

где D – дисперсия АЧХ ГТД [см. (14)]; Ф – штрафная функция, накладываемая в случае нарушения устойчивости системы, если какой-либо из коэффициентов характеристического уравнения системы (15) имеет отрицательное или нулевое значение; α_1, α_2 – весовые коэффициенты, определяющие степень важности той или иной составляющей; F – целевая функция.

Зададим весовые коэффициенты целевой функции (16): α_1=1, α_2=0,005. Построим целевую функцию (рис. 9) и применим минимизацию функции методом градиентного спуска.

Для оценки качества переходного процесса механической системы ГТД (рис. 10) будем использовать следующие показатели: время переходного процесса $t_п$, характеризующее длительность пребывания технической системы в неустановившемся состоянии (динамический режим), коэффициент динамичности $k_д$, характеризующий максимальное отклоне-

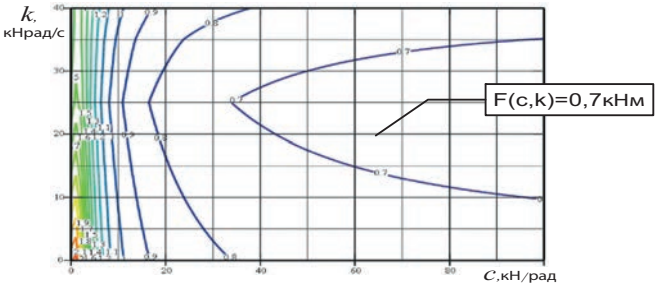


Рис. 9. ***Целевая функция механической системы ГТД с ДУЗ***

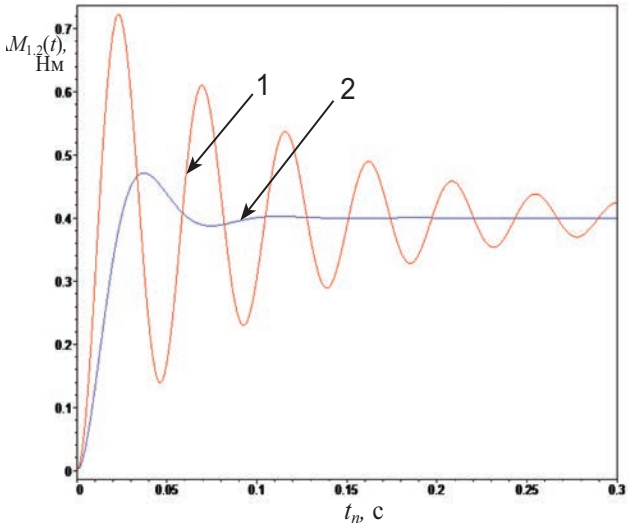


Рис. 10. ***Переходные характеристики ГТД***
1 – базовый вариант ГТД; 2 – опытный вариант ГДТ

ние фазовой координаты от ее значения в установившимся конечном состоянии $M_к$, декремент колебаний D, характеризующий скорость затухания, колебательность K, определяется числом амплитудных значений функции $\Delta M_{1.2}(t)$ за время $t_п$, которое не должно превышать 1–2.

Коэффициент динамичности определяют по следующей формуле:

$$k_д = \frac{\max(\Delta M_i)}{M_к}, \qquad (17)$$

где $M_к$ – крутящий момент в установившимся в конечном состоянии.

При высоких требованиях к характеристикам функционирования технической системы значение $k_д$ не должно превышать 1,2–1,24.

Декремент колебаний определяют по формуле

$$D = \frac{A_1}{A_2}. \qquad (18)$$

Таблица

Результаты переходного процесса механической системы

Параметр	Значение	
	базовое	опытное
$k_д$	1,8	1,175
D	1,18	1,175
K	7, 0	2, 0

ВЫВОДЫ

Динамические перегрузки в газотурбинных двигателях – актуальная проблема, так как они приводят к снижению их ресурса и надежности. В этой связи разработано диссипационно-упругое звено, благодаря которому удалось снизить динамическую нагруженность.

Расчеты показали, что, используя разработанную конструкцию с звеном ДУЗ, можно снизить амплитудные максимумы на частоте 16,67 $с^{-1}$. Со снижением величины жесткости вала ГТД за счет применения ДУЗ резонансный пик АЧХ уменьшается, перемещается в зону низких частот и имеет явно выраженный резонансный пик на частоте 9,74 $с^{-1}$. Уменьшение или увеличение коэффициента демпфирования k_{12} приводит только к соответствующему увеличению или уменьшению амплитуды резонансного пика, не влияя на резонансную частоту.

Время переходного процесса $t_п$, характеризующее длительность пребывания технической системы в неустановившемся режиме работы (динамический режим), составило 0,1 с, коэффициент динамичности $k_д$, характеризующий максимальное отклонение фазовой координаты от ее значения в установившимся конечном состоянии $M_к$, где $M_к$ равно 1,175, что ниже базового на 34,3%, декремент колебаний D, характеризующий скорость затухания, составил 1,175 за 0,3 с, а базовый – 1,18, колебательность K, определяемая числом амплитудных значений функции $\Delta M_{1.2}(t)$ за время $t_п$, которая не должна превышать 1–2 колебаний, составила 2 колебания за 0,3 с, а базовое значение – 7 колебаний (см. таблицу).

ЛИТЕРАТУРА

1. Авт. св. 2260149 РФ, МПК51 B60K 17/32. Составной полый вал газотурбинного двигателя / С.С. Некрасов, В.В. Прокофьев; Научно-производственное объединение « Сатурн»(ОАО «НПО «Сатурн»). – № 2003124464/061;заявл. 27.02.2005; опубл. 10.09.2005// Бюлл. № 25, 7 с.
2. Авт. св. 2273749 РФ, МПК51 F02C 7/36. Узел соединения роторов компрессора и турбины газотурбинного двигателя / П.Н. Гусев, В.Ю. Критский; ОАО «НПО «Сатурн». – № 2004126042/06; заявл. 26.08.2004; опубл. 10.04.2006//Бюлл. № 10, 5 с.
3. Авт. св. 148624 РФ, МПК51 F01D 5/30. Узел соединения роторов компрессора и турбины газотурбинного двигателя / С.А. Заваруев, А.В. Узбеков; Уфимское моторостроительное производственное объединение» (ОАО «УМПО») (RU). – № 2013122550/06; заявл. 09.08.2013; опубл. 10.12.2014// Бюлл. № 34,10 с.
4. Авт св. 1567816 РФ (СССР). Гидродинамический демпфер/ В.Б. Балякин и др. (РФ). № 4453503/25-28; заявл. 04.07.88; опубл. 30.05.90//Бюлл. № 20.
5. *Держанский В.Б., Тараторкин И.А.* Прогнозирование динамической нагруженности гидромеханических трансмиссий транспортных машин: монография. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 176 с.
6. *Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У.* Колебания в инженерном деле/ Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.
7. *Гольберг Ф. Д., Гуревич О. С., Петухов А. А.* Математическая модель двигателя в САУ ГТД для повышения надежности и качества управления // Тр. МАИ. – № 58. –13 с.
8. *Тарасенко А. И., Тарасенко А. А.* Широкодиапазонная динамическая модель ГТД // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 9.– С. 243–247.
9. *Тарасенко М. А., Тарасенко А. И.* Сравнительный анализ частичных режимов одновального и многовальных ГТД при изменении температуры наружного воздуха // Авиационно-космическая техника и технология.– 2014.– № 9.– С. 74–79.
10. К вопросу об использовании теории приспособляемости в расчетах на прочность дисков газовых турбин/А.Р. Беляков, Л.Б. Гецов, В.К. Дондошанский и др.//Проблемы прочности. – 1988. – № 11. – С.100–106.
11. *Беляков А.Р. , Гецов Л.Б., Гинзбург. А.Е.* К вопросу о прочности деталей направляющих аппаратов газовых турбин//Проблемы прочности. – 1989. – № 11. – С.119–129.
12. Методика оценки прочности ободов направляющих аппаратов газовых турбин с концентраторами/Беляков А.Р., Гецов Л.Б., Тутынин В.К. и др.//Проблемы прочности. – 1992.– № 4.– С. 37–44.
13. *Соколова А.Г., Балицкий Ф.Я., Долаберидзе Г.В., Иванова М.А.* Раннее обнаружение и локализация скрытых дефектов узлов ГТД по данным многомерного дискриминантного анализа корпусной вибрации. // Вестник науч.-техн. развития. Исследования, инновация, внедрения. (www.vntr.ru). – 2013– № 11 (75) – С. 50–5.
14. Неразрушающий контроль: Справ. – В 7 т.– Т. 7.– Кн. 2: Вибродиагностика.– М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.
15. *Цыпкин Я.З.* Адаптация и обучение в автоматических системах. –М.: Наука, 1968. – 400 с. ■

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПРЕДЕЛОВ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ, ВЫНОСЛИВОСТИ, ПОЛЗУЧЕСТИ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

А.З. Багерман, *канд. техн. наук, руководитель секции «Судовые энергетические установки» РосНТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова, контакт. тел. (812) 710 4011, +7 (921) 981 0322*

Для решения поставленных задач, в частности, для *определения несущей способности сплава,* была принята модель, по которой эта способность сплава σ_{100}, обеспечивающая заданную длительность работы до разрушения, складывается из несущих способностей отдельных металлов, ее составляющих. То есть принято, что металлы, составляющие сплав, имеют собственные удельные величины несущей способности $\sigma_{y\,i}$, МПа/г, на единицу массы, одинаковые для этих металлов во всех сплавах данного типа. Общая несущая способность сплава, «располагаемая» величина, образуется как сумма произведений удельной несущей способности металлов $\sigma_{y\,i}$ на их весовую долю в сплаве g_i.

Для девяти металлов были подобраны удельные величины их несущей способности при работе в сплаве. Они могут не совпадать с величинами для чистых металлов, так как при работе в сплаве изменяются по сравнению с состоянием чистого металла. В табл. 1 приведены значения $\sigma_{y\,i}$ для металлов Ni, Cr, Co, Mo, W, Ti, Al, Fe, Nb.

Для примера в табл. 2 приведены оценки пределов длительной прочности сплава ЭИ867.

Далее для двадцати пяти сплавов на основе никеля при температурах 700, 750, 800, 850, 900 °С были оценены в соответствии с моделью величины пределов длительной прочности сплавов как располагаемой величины $\sigma_{рас100}$. Сравнение полученных результатов (более 80) со справочными данными [1, 2] показало, что рассчитанная величина σ_{100} может совпадать со справочной или отличаться от нее в пределах ± 20 %. Отличие получилось большим для сплавов ЭП220 и ЭП109 при 800 °С, ЭП602 при 700 и 800 °С, ЭП199 и ЭП693 при 900 °С.

Для оценки предела длительной прочности при продолжительности работы более 100 часов использовался условный параметр – скорость расходования несущей способности сплава $\sigma/\Delta\tau$, МПа/ч.

Справочные данные обрабатывались для получения относительного значения этой скорости на режимах с $\Delta\tau$ более 100 часов по отношению к этой скорости за 100 часов. Этот параметр определялся из следующей зависимости:

$$W = (\sigma_{\Delta\tau}/\Delta\tau)/(\sigma_{100}/100). \qquad (1)$$

Для каждой из рассматриваемых температур коэффициент учета длительности эксплуатации сплавов W оказался практически одинаковым для них всех при одинаковой длительности работы до разрушения. Средние значения W приведены в табл. 3.

Используя коэффициенты, приведенные в табл. 3, можно оценить пределы длительной прочности сплавов при работе 200, 500, 1000, 2000 часов. Для этого перепишем формулу (1) относительно $\sigma_{\Delta\tau}$:

$$\sigma_{\Delta\tau} = W\cdot\sigma_{100}\cdot\Delta\tau/100, \text{ МПа}. \qquad (2)$$

При повышении температуры сплава предел длительной прочности σ_{100} снижается в диапазоне температур 700–900 °С примерно до двух раз. Изменение значений σ_{100} отдельных металлов в составе сплава в этом диапазоне температур показано в табл. 4.

Полученные данные о свойствах жаропрочных сплавов на никелевой основе позволяют сделать следующие выводы:

- предел длительной прочности сплава может быть представлен суммой пределов длительной прочности составляющих его металлов,
- пределы длительной прочности металлов, работающих в составе сплавов, могут быть представлены в виде произведений удельной величины предела прочности металла (не обязательно совпадающей с этой величиной чистого металла), отнесенной к единице веса, на весовую долю металла в сплаве,

Таблица 1

Удельные величины несущей способности металлов при работе в сплавах на основе никеля, МПа/г

T, °С	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
700	1,05	1,05	10,5	30,0	18,0	30,0	27,0	30,0	48,0
750	0,82	0,82	10,5	23,4	14,0	23,4	21,0	23,4	37,0
800	0,45	0,45	10,5	15,0	9,0	15,0	11,0	15,0	26,0
850	0,31	0,31	7,0	11,6	7,4	11,6	8,5	11,6	17,0
900	0,21	0,21	7,0	8,0	5,0	8,0	5,0	8,0	8,4

Таблица 2

Результаты расчета пределов длительной прочности сплава ЭИ867. (Выполнен для 100 г при температуре 900 °С)

Характеристика	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
Состав сплава *gi*, %	61,6	9,5	5,0	10,2	5,2	-	4,5	4,0	-
$\sigma_{100\,i}$, МПа [1]	0,21	0,21	7,0	8,0	5,0	8,0	5,0	8,0	8,4
Доля несущей способности металла, $\sigma_{100i}\cdot g_i$, МПа [2]	12,9	2,0	35,0	81,6	26,0	–	22,5	32,0	-
Предел прочности за 100 часов, МПа [3]	212*	–	–	–	–	–	–	–	–
Предел прочности за 500 часов, МПа [4]	138*	–	–	–	–	–	–	–	–
Предел прочности за 1000 часов, МПа [5]	114*	–	–	–	–	–	–	–	–

* По данным [2], при температуре 900 °С значение предела прочности σ_{100} составляет 190–210 МПа, σ_{500} – 130 МПа, σ_{1000} – 110 МПа.

1 – из табл. 1; 2 – $\sigma_{100i}\cdot g_i$; 3 – $\sigma_{100спл} = \sum \sigma_{100i}\cdot g_i$; 4 – $\sigma_{500} = W_{500i}\cdot\sigma_{100}\cdot 500/100$; 5 – $\sigma_{1000} = W_{1000i}\cdot\sigma_{100}\cdot 1000/100$.

Таблица 3

Значения коэффициента учета длительности эксплуатации W сплава до разрушения

T, °С	Длительность, ч				
	100	200	500	1000	2000
700	1,0	0,47	0,16	0,075	-
800	1,0	0,46	0,155	0,070	0,033
850	1,0	-	0,142	0,066	0,027
900	1,0	0,45	0,13	0,054	0,020

– удельная величина предела прочности любого жаропрочного сплава на основе никеля при одной температуре неизменна,
– введенное понятие «относительная скорость расходования ресурса» сплавом при заданной длительности работы до разрушения показало, что при ресурсе 100 часов эта скорость при другой длительности работы, но при одной и той же температуре одинакова для всех сплавов.

Подтвердилась возможность представления характеристик сплавов как сумму произведений характеристик составляющих их металлов на их весовую или объемную долю в сплаве по аналогии с такими характеристиками, как скорость окисления и коррозии [3, 4], степень черноты поверхности [6], теплопроводности [5, 7], теплоемкости [7].

Прогнозирование предела выносливости жаропрочных сплавов на основе никеля на базах 10^6,10^7, 10^8 циклов было следующей задачей исследования. Для этого был разработан алгоритм оценки расчетным путем предела выносливости сплавов σ_{-1} для температур 800 °С и 900 °С, на базах 10^6,10^7, 10^8 циклов и частотах до 10 кГц. Для этого использовалась модель, в которой были приняты следующие допущения:
– введено понятие удельного сопротивления усталости $\sigma_{уме}$ размерностью МПа/г для каждого металла, образующего сплав;
– при рассмотрении 100 г сплава процент химического состава равен 1 г.
– общая доля каждого металла в сопротивлении усталости определяется как произведение

$$(\sigma_{-1})_{ме} = \sigma_{уме} \cdot g_i,$$

где g_i – весовая доля металла в сплаве.

В работах, например, [3, 4, 5], показано, что значения характеристик чистых металлов при работе в сплавах могут изменяться в принципе, в том числе при изменении температуры и условий использования сплава.

Напряжения, которые выдерживает сплав, складываются из напряжений (сопротивлений) отдельных металлов, составляющих его.

В соответствии с этими допущениями и фактами был сформирован модуль удельных сопротивлений усталости девяти металлов для температур 800 °С и 900 °С на базах 10^6, 10^7, 10^8 циклов, представленный в табл. 5.

При формировании модуля использовались данные [4, 5]. При оценке предела выносливости использовалось максимально допустимое содержание Fe в рассматриваемом сплаве. Для оценки предела выносливости рассматривался химический состав сплава ЭИ929 (табл. 6).

Таблица 4

Относительное изменение σ_{100} отдельных металлов, работающих в составе сплавов

T, °C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
700	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
800	0,43	0,43	1,0	0,50	0,50	0,50	0,41	0,50	0,47
850	0,29	0,29	0,66	0,38	0,41	0,38	0,31	0,38	0,33
900	0,20	0,20	0,66	0,26	0,28	0,26	0,18	0,26	0,20

Таблица 5

Модуль удельных сопротивлений усталости $\sigma_{уме}$, МПа/г

Цикл	*T*, °C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
10^6	800	1,06	0,84	4,24	10,6	15,9	15,9	15,9	8,4	12,0
10^6	900	1,0	0,8	4,0	10,0	15,0	15,0	15,0	8,0	11,4
10^7	800	1,08	0,8	4,0	10,0	15,0	15,0	15,0	8,0	11,0
10^7	900	0,88	0,7	3,5	8,8	13,2	13,2	13,2	7,0	10,0
10^8	800	0,82	0,65	3,3	8,2	12,3	12,3	12,3	6,5	9,0
10^8	900	0,72	0,57	2,87	7,2	11,0	11,0	11,0	6,0	8,0

Таблица 6

Пример оценки σ_1 сплава ЭИ929 при температуре 900 °С на базе 10^7 циклов

Характеристика	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
Состав сплава, g_i, г.	54,3	10,5	14,0	5,0	5,5	1,7	4,0	5,0	-
Удельное сопротивление усталости, $\sigma_{уме}$, МПа/г	0,88	0,7	3,5	8,8	13,2	13,2	13,2	7,0	
$\sigma_{уме} \cdot g_i$	47,8	7,3	49,0	44,0	72,6	22,4	52,8	35,0	-

Предел выносливости находят как $\sigma_{-1} = \sum \sigma_{ум} e \cdot g_i$. В данном примере σ_{-1} = =331 МПа. По данным [2], для сплава ЭИ929 σ_{-1} = (330÷350) МПа.

Сравнение результатов расчетной оценки σ_{-1} с их справочными значениями показало, что половина результатов расчета отличались от справочных не более чем на 10 и 20%. Оценивались результаты 16 и 13 сплавов при температурах 800 °С и 900 °С.Для сплавов – ЭИ437Б (800 °С) и ЭП99 (900 °С) отклонение было большим. При температуре 900 °С четыре результата совпали со справочными.

Для оценки влияния на величину σ_{-1} частоты колебаний нагрузки использовались данные [9]. В результате обработки этих данных сформированы два уравнения, связывающие частоту колебаний нагрузки и σ_{-1}. По данным опытов, с увеличением частоты колебаний от 200 Гц до 1000 – 2000 Гц предел выносливости увеличивается, а затем начинает снижаться, поэтому используются два уравнения, первое – для интервала частот от 200 до 1500 Гц :

при $N = 10^6$ циклах

$$Lg\sigma_{-1} = 0{,}1Lgf + 2{,}25; \quad (3)$$

при $N = 10^7$ циклах

$$Lg\sigma_{-1} = 0{,}137Lgf + 2{,}09; \quad (4)$$

при $N = 10^8$ циклах

$$Lg\sigma_{-1} = 0{,}175Lgf + 1{,}94; \quad (5)$$

второе уравнение – для интервала частот от 1500 до 10 000 Гц:

при $N = 10^6$ циклах

$$Lg\sigma_{-1} = -0{,}143Lgf + 3{,}04; \quad (6)$$

при $N = 10^7$ циклах

$$Lg\sigma_{-1} = -0{,}164Lgf + 3{,}075; \quad (7)$$

при $N = 10^8$ циклах

$$Lg\sigma_{-1} = -0{,}186Lgf + 3{,}11. \quad (8)$$

Для использования этих уравнений необходимо привести их к уровню предела выносливости рассматриваемого сплава. Для этого откорректируем третий член в уравнениях (3) – (8). Вместо $Lg\sigma_{-1}$ подставим его значение для рассматриваемого сплава, полученное с помощью модулей из табл. 1 при частоте колебаний 200 Гц.

Для сплава ЭИ929 при $N = 10^7$ циклов и температуре 900 °С уравнение (4) преобразуется в уравнение (4а) :

$$Lg\sigma_{-1} = 0{,}137Lgf + 2{,}20. \quad (4а)$$

С помощью этого уравнения оценим пределы выносливости сплава ЭИ929 для частот до 1500 Гц.

Для корректировки уравнения (7) используем значение $Lg\sigma_{-1}$, полученное по уравнению (4а) для частоты колебаний 1500 Гц. Откорректированное уравнение получает вид

$$Lg\sigma_{-1} = -0{,}164Lgf + 3{,}15. \quad (7а)$$

Результаты расчетной оценки предела выносливости σ_{-1} жаропрочных сплавов на основе никеля при температурах 800 °С и 900 °С и 10^6,10^7,10^8 циклов показали продуктивность представления этой величины с использованием удельного сопротивления усталости металлов для прогнозных расчетов σ_{-1}.

Представленный расчетный алгоритм оценки σ_{-1} может использоваться как для существующих сплавов, так и для новых.

Материалы настоящей статьи позволили на основании выявленных закономерностей характеристик металлов

и сплавов составить алгоритмы оценки пределов длительной прочности и выносливости жаропрочных сплавов на основе никеля в зависимости от химического состава, в частности, алгоритм расчетной оценки пределов длительной (до 2000 часов) прочности этого сплава и его выносливости до частоты колебаний нагрузки 10 кГц.

Для оценки предела ползучести сплава могут использоваться модули удельного напряжения при скорости деформации 0,2% за 100 часов, приведенные в табл. 7 и табл. 8.

Оценка предела ползучести получается как сумма произведений удельного напряжения по модулю из табл. 7 и табл. 8 на весовую долю металла в сплаве. Величины удельных напряжений в металлах, работающих в сплавах, зависят от их температуры и способа его нагружения.

Механические свойства сплавов – длительная прочность и условная текучесть – были определены также в зависимости от химического состава при температуре 800 °С.

Таблица 7

Модуль удельного напряжения $\sigma_{y0,2/100}$ по общей деформации, МПа

T,°C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
700	0,62	0,62	14,4	26,6	11,2	20,6	15,1	17,2	27,5
800	0,36	0,36	8,4	12,0	6,5	12,0	8,8	10,0	16,0
900	0,16	0,16	3,8	5,4	2,9	5,4	3,9	4,5	7,2

Таблица 8

Модуль удельного напряжения $\sigma_{y0,2/100}$ по остаточной деформации, МПа

T,°C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
700	0,86	0,86	20,4	28,0	15,9	28,0	20,0	22,0	29,4
800	0,44	0,44	10,4	14,9	8,1	14,9	10,9	12,4	15,0

Таблица 9

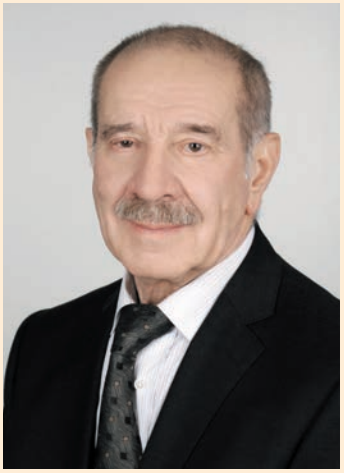
Модули пределов прочности и условной текучести при растяжении

Характеристика	T, °C	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb
$\sigma_в$	800	1,2	1,2	20,0	35,0	24,0	40,0	30,0	40,0	130,0
$\sigma_в$	900	0,84	0,84	14,0	24,0	17,0	28,0	21,0	28,0	15,0
$\sigma_{0,2}$	800	0,84	0,84	14,0	24,0	17,0	28,0	21,0	28,0	63,0
$\sigma_{0,2}$	900	0,58	0,58	9,8	16,8	12,0	19,6	14,7	19,6	7,0

ЛИТЕРАТУРА

1. *Масленков С., Масленкова А.* Стали и сплавы для высоких температур: Справ. – В 2-х кн. – М.: Металлургия, 1991 – 383 с.
2. Справочник по авиационным материалам. – В 5 т. – Т.3: Коррозионностойкие и жаропрочные стали и сплавы. – М.: Машиностроение, 1965. – 812 с.
3. *Багерман А.З.* Оценка скорости окисления и сульфидирования отдельных металлов в составе сплавов //Тяжелое машиностроение. – 2018. – №4. – С. 26 –28.
4. *Багерман А.З., Леонова И.П.* Оценка скорости солевой коррозии металлов в составе сплавов //Тяжелое машиностроение. – 2019. – №1 –2. – С.32 –34.
5. *Багерман А.З.* Оценка возможности прогнозирования коэффициента теплопроводности сплавов на основе никеля и железа //Тяжелое машиностроение. – 202. – №7 –8. – С.25 –28.
6. *Багерман А.З.* Оценка возможности прогнозирования степени черноты поверхностей деталей проточной части газовой турбины и ее изменение в процессе эксплуатации //Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2020. – Т2. – №392. – С.97 –100.
7. *Багерман А.З., Киршина А.А.и др.* Модульный подход к оценке и прогнозированию характеристик теплообмена жаропрочных сплавов на никелевой основе //Судостроение. – №5. – С.37 –40.
8. *Багерман А.З.* Оценка теплоемкости сплавов на основе железа и никеля в окрестностях «точки Кюри» этих металлов// Морской вестник. – 2021. – №2. – .86 –87.
9. *Сулема А.М., Евстигнеев М.И.* Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. – М.: Машиностроение, 1974. – 250 с. ■

А.З. БАГЕРМАНУ – 85 ЛЕТ



9 ноября 2021 г. Анатолию Захаровичу Багерману, кандидату технических наук, руководителю секции «Судовые энергетические установки» исполняется 85 лет. Вся жизнь А.З. Багермана тесно связана с Крыловским государственным научным центром и НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова.

Анатолий Захарович Багерман родился 9 ноября 1936 г. в Ленинграде. В 1960 г. окончил Ленинградский кораблестроительный институт, после чего он работал в ЦКБ «Рубин» до 1962 г. С 1962 по 1965 г. – обучался в аспирантуре ЛКИ. В 1965 – 2020 гг. трудился в Крыловском научном центре, где в 1966 г. защитил кандидатскую диссертацию. В сфере его интересов – исследование условий эксплуатации газотурбинных двигателей, влияние этих условий на изменение характеристик таких двигателей и их элементов, а также исследование высокотемпературной солевой коррозии материалов проточной части двигателей, разработка моделей и алгоритмов параметрического диагностирования ее состояния.

А.З. Багерман опубликовал около 120 статей, три монографии, получил 9 авторских свидетельств СССР и 12 патентов РФ.

Центральное правление Российского и Международного НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова сердечно поздравляет Анатолия Захаровича со знаменательной датой и желает крепкого здоровья, творческого долголетия и реализации больших планов в работе секции «Энергетические судовые установки» на базе новейших научных и технологических достижений.

Редакция журнала «Морской вестник» присоединяется к этим поздравлениям и желает Анатолию Захаровичу здоровья, благополучия и дальнейших научных достижений.

Редакционный совет и редколлегия журнала поздравляют Анатолия Захаровича с 85-летием, желают ему здоровья, удачи и продолжения активной работы на благо России.

БАЗОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЙ МОРСКИХ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.Г. Юрескул, *канд.техн. наук, начальник НПЦ,*
А.Н. Попадьин, *канд. техн. наук, начальник НИЛ,*
В.С. Кашлаков, *инженер 2-й категории,*
Е.А. Сапожков, *специалист,*
АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
М.М. Еремеев, *инженер 125 ВП МО РФ, аспирант БГТУ «Военмех»,*
контакт. тел. (812) 445 0829

Ведущие технологически развитые страны активно разрабатывают морские безэкипажные комплексы (МБК), способные достаточно долго с высокой степенью автономности выполнять возложенные на них задачи [1]. Типовой образец МБК, как правило, включает совокупность функционально связанных элементов [2]:

- базовый автономный носитель (АН);
- специализированное навесное оборудование для мониторинга среды;
- средства обеспечения и обслуживания, используемые при подготовке к применению и технической эксплуатации МБК.

Как показывает практика, основную сложность при создании современного МБК представляет разработка системы управления (СУ) АН [3]. Затраты на ее создание и отработку составляют более половины от затрат на создание МБК.

При увеличении объема и сложности обрабатываемой СУ информации с одновременным уменьшением времени на принятие решений, повышения интеллектуальных возможностей МБК возникла потребность в существенной проработке ядра наиболее важных технологий, необходимых для создания всей номенклатуры перспективных МБК.

Эффективность и качество применения новых МБК во многом зависят от объема и достаточности испытаний при разработке, изготовлении и сопровождении их эксплуатации. Существенную роль играют наземные испытания МБК, целью которых является достоверное определение и всесторонняя оценка параметров и характеристик, а также доведение их до значений, заданных в нормативно-технической документации [4]. В результате возможны выявление и устранение конструкционных, технологических и производственных дефектов до пуска изделия, а также оценка реализуемости характеристик МБК в соответствии с комплексной программой экспериментальной отработки на ранних этапах проектирования.

Для отработки и испытаний аппаратуры существующих МБК на предприятиях разработан и применяется уникальный парк испытательного оборудования, которое может и должно использоваться при создании новых изделий и их наземной отработке на всех этапах жизненного цикла. Наиболее быстрый и эффективный путь модернизации технологии испытаний при создании МБК – это замена или новая разработка систем автоматизации испытательных стендов (ИС). Нынешний этап развития информационных технологий позволяет быстро, практически не выводя используемое оборудование из цикла текущих работ, обеспечить соответствие модернизации имеющегося испытательного оборудования современным требованиям. Сетевые технологии и базы данных дают возможность перейти к созданию нового уровня – «надстройки» над отдельными стендами и установками и организовать сквозной обмен данными и отчетности в рамках испытательной базы предприятия.

Испытания СУ подвижными объектами представляют собой совокупность большого числа взаимосвязанных процессов [5]: испытания отдельных приборов МБК, отладка взаимодействия отдельных приборов и устройств, испытания отдельных подсистем, отработка СУ с имитацией внешней обстановки, комплексная отработка МБК во взаимодействии со всеми системами комплекса.

Проведенный анализ задач, решаемых на каждом из этапов отработки, показывает, что на всех этапах испытания включают типовые операции: формирование воздействий, получение результатов испытаний (измерений), информационный обмен, обработка информации, принятие решений. Соответственно этим процессам при испытаниях аппаратуры МБК различают ИС, которые их обеспечивают и вместе с другими системами образуют контур испытаний [6].

При этом на предприятиях преобладает подход к созданию таких средств, когда разработчики ИС для отработки аппаратуры МБК практически независимо друг от друга создавали различные узкоспециализированные комплексы и программные средства, обеспечивающие отработку, контроль и испытания на всех этапах изготовления и испытаний. В этих условиях уровень унификации по проекту невелик, а затраты на их создание и эксплуатацию существенны [7].

Перспективным направлением является архитектурный подход к созданию базовой технологии для обеспечения всего процесса наземных испытаний приборов, узлов, агрегатов и МБК в целом на этапах их отработки на стендах главных конструкторов до комплексного испытательного стенда [8].

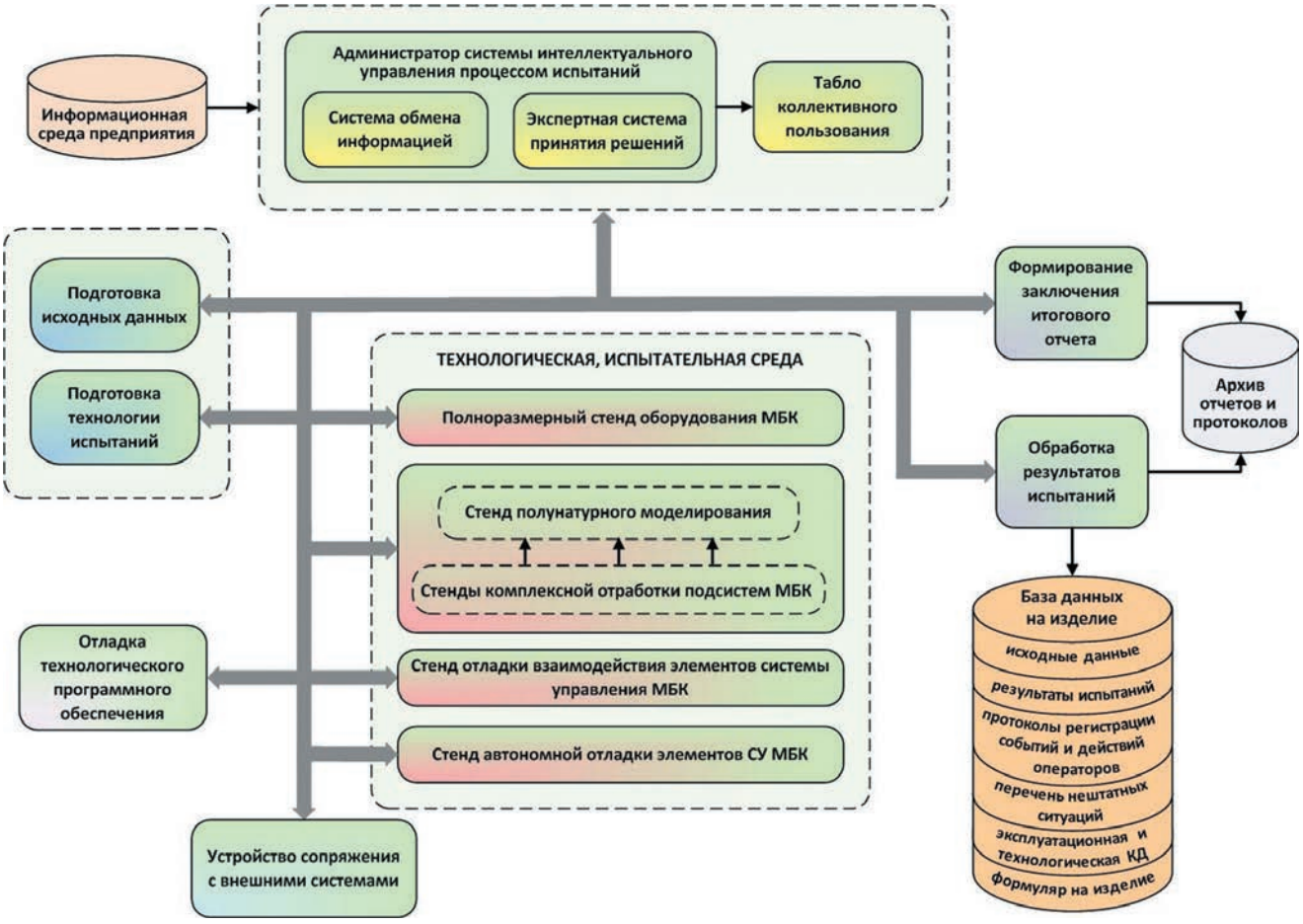
Такой подход позволяет реализовать принципы проектного управления, организовать комплекс взаимосвязанных работ по проведению наземных испытаний различными подразделениями предприятия при общей координации (под управлением) главного конструктора МБК [9]. Перспективным направлением реализации комплексного процесса испытаний является создание интегрированной информационно-технологической среды стендовой базы предприятия, которая структурно представляет собой территориально распределенную многоуровневую систему (см. рисунок).

В состав технологической среды входят:

- программно-аппаратные ИС отладки отдельных систем МБК и программно-алгоритмического обеспечения;
- единое информационное поле комплекса ИС;
- полноразмерный комплексный моделирующий стенд (электронный полигон);
- интегрированные средства управления испытаниями и комплексной оценки результатов.

На *первом уровне* технологической среды находятся ИС автономной отладки элементов СУ. Как правило, это стенды разработчиков аппаратуры, цехов и участков изготовителей, реализованные на базе унифицированного набора программируемых контроллеров, промышленных коммутаторов и других коммуникационных средств. На данном уровне решаются вопросы сопряжения, сбора и предварительной обработки информации от объектов контроля.

На *втором технологическом уровне* предприятий решаются задачи кон-



Интегрированная информационно-технологическая среда стендовой базы предприятия

троля, диагностики и испытаний узлов и агрегатов МБК. ИС этого уровня включают в свой состав рабочие станции испытателей, специалистов-разработчиков и руководителей работ, серверы, средства интегрального коллективного отображения и связи с соисполнителями, участвующими в реализации проекта создания МБК.

Третий уровень структурно реализуется аналогично второму уровню. На данном уровне выполняется комплексная отработка составных частей МБК, аккумулируются и анализируются результаты испытаний подсистем в целом, осуществляется информационная поддержка при разрешении возникающих нештатных ситуаций, формируются и пополняются исходные данные для систем принятия решений (СПР), вводятся, актуализируются и архивируются технические и организационные документы в электронном виде, систематизируются результаты испытаний для дальнейшего статистического анализа. На этом уровне обязательно используется стенд полунатурного моделирования СУ АН.

Полунатурное моделирование (ПНМ), являющееся мощнейшим средством исследования создаваемых систем, позволяет резко сократить объем натурных испытаний МБК, заменяя их «плаванием» на моделирующем комплексе, что приводит к значительной экономии финансовых, экономических ресурсов и времени научно-технического проектирования. ПНМ допускает значительно более широкие исследования, результаты которых дают информацию и для прогнозирования поведения системы в реальных условиях (в том числе при натурных испытаниях), а также о характере ее фазовых траекторий и является важнейшим источником информации, которую практически невозможно получить никакими другими средствами.

На *четвертом уровне* на полноразмерном стенде оборудования МБК проводится полунатурное моделирование движения АН по траектории в реальном масштабе времени с имитацией всех воздействий на его элементы. Стенд представляет собой территориально распределенный макет МБК с установленными на нем реальными агрегатами и системам, предназначен для проверки их взаимодействия и для отработки программного обеспечения [3]. В ходе ПНМ происходит отладка алгоритмов и логики применения, реализованных в штатной аппаратуре, при различных режимах работы и внешней обстановки. Такая технология называется «электронным пуском» и воспроизводит натурные испытания в лабораторных условиях, позволяя моделировать невоспроизводимые и нереализуемые при испытаниях условия. «Электронные пуски» используются для статистической оценки характеристик МБК, поскольку, чтобы определить, с какой вероятность будет выполнена задача, необходимы десятки, а то и сотни пусков.

Для повышения автоматизации и интеллектуализации испытаний МБК на различных этапах разработки в составе технологической стендовой среды предприятия используется административная система интеллектуального управления процессом испытаний.

Разнообразие состава и объема проверок, воздействие внешних факторов, наличие неопределенностей на различных этапах эксплуатации оборудования на всех уровнях требуют «правильного» выбора управления, т. е. качественного решения задачи испытания. Для этого используется экспертная СПР.

СПР включает в себя базу знаний, систему управления базой знаний, систему управления базами данных, банк

моделей, систему управления банком моделей, а также собственно ядро искусственного интеллекта, реализующее функции сбора информации, распознавание ситуаций, решение задачи классификации результатов [3].

В состав административной системы интеллектуального управления интегрирована система обмена информацией «пользователь–система», обеспечивающая управление и диалог со всеми составляющими автоматизированного испытательного комплекса.

Базовое обеспечение автоматизированного испытательного комплекса разрабатывается на основе типизации и унификации методов и средств решения задач наземных испытаний МБК. Несмотря на то, что наземная отработка осуществляется по множеству частных программ с использованием различных методик, по которым оцениваются сотни характеристик и десятки тысяч параметров, технические средства, применяемые для контроля, диагностики и испытаний блоков, агрегатов и МБК в целом, во многом инварианты и имеют ограниченный по номенклатуре набор источников информации [5]. При необходимости набор дополняется оригинальными техническими средствами для сопряжения с объектом управления и наземным испытательным оборудованием.

Ядро административной системы интеллектуального управления процессом испытаний реализуется в виде рабочих станций испытателей, технологов и руководителя работ на базе АРМ и стандартного телекоммуникационного оборудования с использованием технологий «клиент-сервер» и «файл-сервер». Для отображения хода технологического процесса, оперативного управления в штатных и нештатных режимах целесообразно использовать сегментированное табло коллективного пользования, позволяющее повысить эффективность командной работы испытателей сложных агрегатов и МБК в целом, особенно при разрешении нештатных ситуаций. На данном этапе осуществляются сбор и регистрация данных от локальных ИС, синхронизация работы и поддержание единого времени в системе, управление ходом испытаний и отображение состояния технологического графика, обработки измеренных данных в соответствии с методами контроля и анализа состояния объекта, формирование оперативного заключения «норма-ненорма», итогового отчета, соответствующего раздела электронного паспорта, исходной информации по пополнению раздела базы данных по нештатным ситуациям.

Подготовка и проведение наземных испытаний требует разработки оригинального базового проблемно-ориентированного комплекса для планирования, проведения и обработки результатов испытаний, который должен обеспечивать:

- подготовку сеансов и процедур наземных испытаний с использованием дружественного пользовательского интерфейса без реального программирования;
- оперативное изменение сеансов и циклограмм испытаний;
- информационную поддержку испытателей при разрешении нештатных ситуаций;
- сбор и предварительную обработку измерительной информации;
- регистрацию информации и всех событий, возникающих в процессе испытаний;
- хранение информации с возможностью ее постобработки через интерфейс с использованием баз данных в режиме диалога с испытателями;
- интегральное отображение хода испытаний и визуализация информации в виде мнемосхем, графиков, таблиц и т. п.

Информационное обеспечение представляет собой совокупность решений и данных по хранению информации и ее предоставлению потребителям, задействованным в технологической цепочке наземных испытаний, и включает в себя нормативную базу по проведению испытаний, базу технических документов, статические данные, классификаторы информации о различных аспектах деятельности, структуры хранения информации, рубрикаторы нештатных ситуаций и т. п.

Реализация рассмотренной информационно-технологической среды заключается в создании единого информационного пространства стендовой испытательной базы предприятия и одновременно является этапом формирования информационной среды родственных предприятий. Именно уровень автоматизации при проведении исследований и испытаний новой техники во многом определяет качество проводимых работ, конкурентоспособность получаемых результатов. Грамотно и эффективно проводимые испытания, мониторинг процессов, единая технология разработки комплексных систем и организации работы с получаемыми данными позволяют добиваться прямой экономии денежных средств за счет интенсификации использования дорогого оборудования, увеличения его ресурсной эксплуатации, получения новых результатов

ЛИТЕРАТУРА

1. *Красильников Р. В.* Системы борьбы с необитаемыми аппаратами -асимметричный ответ на угрозы XXI века. – Инфо-да, 2013. – 106 с.
2. *Лукомский Ю. А., Чугунов В. С.* Системы управления морскими подвижными объектами: учебник. – Л.: Судостроение, 1988. – 277 с.
3. *Подоплекин Ю. Ф., Юрескул А. Г., Попадьин А. Н., В. В. Каманин В. В.* Современные тенденции создания средств отработки конкурентоспособной военной техники//Судостроение. – 2021. – № 1 (854). – С. 14–18.
4. *Юрескул А.Г, Ямщиков Ю. А., Романова Ю. В., Попадьин А. Н., Анисимов А. В.* Испытания автоматизированных систем судовождения на динамическом моделирующем комплексе//Морской вестник. – 2020. – № 4 (76).– С. 1–4.
5. *Попадьин А. Н., Юрескул А. Г., Анисимов А. В., Романова Ю. В.* Комплексный подход имитации механических нагрузок в процессе полунатурного моделирования системы управления автономным подвижным объектом//Морская радиоэлектроника. – 2020. –№ 2 (72). – С. 30–35.
6. *Юрескул А. Г., Каманин В. В., Попадьин А. Н.* Особенности создания стендов полунатурного моделирования для военной техники//Морская радиоэлектроника. – 2019. – № 2 (68). – С. 48–52.
7. *Юрескул А. Г., Попадьин А. Н., Анисимов А. В., Романова Ю. В.* Принципы построения имитатора механических нагрузок на рули беспилотного аппарата в составе комплекса полунатурного моделирования//Морская радиоэлектроника. – 2019. – № 4 (70). – С. 18–23.
8. *Зиндер Е. З.* Современный архитектурный подход и его практическое применение в рамках старых и новых стандартов проектирования. – М.: Фонд ФОСТАС, 2005. – 44 с.
9. *Везенов В. И., Светников О. Г., Таганов А. И.* Основы процессно-ориентированного управления проектами информационных систем. – М.: Энергоатомиздат, 2002. – 324 с.

ПЕРЕХОД НА ТЕХНОЛОГИЮ 3D КАРТОГРАФИРОВАНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

А.А. Рябов, *зам. директора АО «Ситроникс КТ»,*
О.Д. Осипов, *зам. начальника УНиО МО РФ,*
С.П. Буртный, *канд. техн. наук, доцент,*
гл.конструктор АО «Ситроникс КТ»,
контакт. тел. +7 (921) 758 0987

ВВЕДЕНИЕ

Стратегией развития морской деятельности РФ [1] предусмотрено формирование единого информационного пространства и создание общей информационно-коммуникационной инфраструктуры информационного обеспечения морской деятельности. При этом в качестве приоритетных направлений определены навигационно-гидрографическое обеспечение (НГО) морской деятельности, мониторинг и прогнозирование состояния природной среды, информационное обеспечение функционирования на морских пространствах различных распределенных структур.

Поскольку в настоящее время не менее 80% информационных потоков составляют пространственные данные, на государственном уровне поставлена задача формирования специализированного кластера инфраструктуры таких данных морской деятельности (ИПД МД). Роль и значение такого кластера трудно переоценить. Его наличие и эффективность функционирования являются критическими факторами для любого вида морской деятельности, будь то морской транспорт, рыболовство, освоение и сохранение ресурсов Мирового океана или военно-морская деятельность.

Различные концепции, технологии, системы и сервисы деятельности на морских акваториях (в частности, e-Navigation, GNSS, ИАС, СУДС, UAV, ROV, Maritime Connectivity Platform, Smart Oceans) исходят из наличия развитой ИПД. Исключительную роль ИПД играет в развитии инфраструктуры, судоходстве и жизнедеятельности Северного морского пути (СМП) и в Арктической зоне.

Для функционирования и развития ИПД решающее значение имеет технологическая обеспеченность деятельности, а именно – качество технологий работы с пространственными данными.

Итак, информационное пространство, ИПД, технологии – внутри такой логической цепочки, на наш взгляд, лежит понимание базиса ближайших достижений и будущих свершений в сфере морской деятельности.

ЕДИНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ПРОСТРАНСТВО И ИПД МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Идея эпистемологического строения информационного пространства принадлежит Мишелю Фуко [2], согласно которой суть информационного пространства сводится к структурированию процессов возникновения, существования и утилизации знаний. Другими словами, информационное пространство – это своего рода фабрика знаний, где производимым, хранимым, перемещаемым, потребляемым ресурсом является информационный ресурс. В логике усложняющегося поведения информационный ресурс удобно представлять в виде DIKW-модели [3], в которой переход на более высокий уровень осуществляется путем добавления ценности ресурсу – структурирование данных превращает их в информацию, помещение информации – в контекст и формулирование истин продуцирует знания, практическое приложение знаний на основе принципов формирует компетенции (рис. 1).

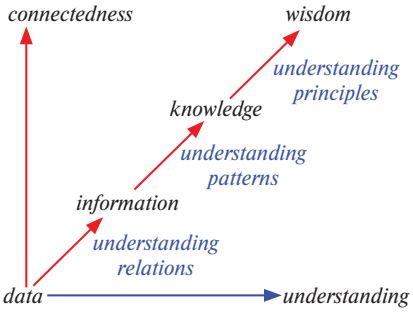


Рис. 1. ***DIKW-модель информационного ресурса***

Применительно к морской деятельности информационное пространство определяется как сопряженная с физической (Мировой океан) информационная среда, обеспечивающая [4]:

(i) отображение, анализ, прогноз состояния условий морской деятельности;

(ii) координатно-временную привязку целостных природных феноменов или их частей;

(iii) адекватное восприятие и интерпретацию потребителями информационных ресурсов;

(iv) эмуляцию/моделирование условий деятельности и природной среды.

В свою очередь, относящаяся к информационному пространству ИПД (Spatial Data Infrastructure, SDI) представляет собой релевантную базовую совокупность технологий, политик и институциональных соглашений, а также стандартов, организаций и людей, обеспечивающих наличие и доступ к пространственным данным [5, 6]. Цель использования этих данных заключается в максимизации экономических, социальных и экологических выгод участников морской деятельности.

Пространственные данные охватывают данные или информацию, идентифицирующую географическое положение природных и искусственных объектов и физических феноменов (features) и границ Земли, океанов и прилегающих пространств, их атрибуты, координаты, топологию и другие метрические характеристики и описания. Это не только наборы данных, но также структуры и базы данных, их атрибуты и метаданные, стандарты, средства поиска, визуализации, доступа и оценки данных. Пространственные данные поддаются картографированию и могут быть использованы географическими информационными системами (ГИС). В основе ИПД лежит информационный процесс.

ИПД МД (Marine Spatial Data Infrastructure, MSDI) является элементом SDI, который сфокусирован на морском контенте и контексте с широким кругом приложений (в частности, пространственное планирование, управление средой, ресурсами и здоровьем, ситуационное реагирование, обучение и научные исследования, безопасность и оборона, защита окружающей среды и т. д.). Стратегией формирования ИПД МД предусматривается производство и управление распределенными геоинформационными ресурсами и услугами, обеспечение доступа и интероперабельности ресурсов и услуг, наличие развитых геоаналитических и когнитивных функций.

В целом, от ИПД МД требуется на основе измерения, описания и прогнозирования состояния физической среды (океанов, морей, прибрежных районов, озер и рек) обеспечить эффективные информационные процессы производства и потребления пространственных, в том числе гетерогенных и потоковых, данных, геоинформационной продукции и услуг всеми участниками морской деятельности. При этом ИПД МД должна быть самодостаточной, высокотехнологичной, иметь сетевую организацию взаимодействия, допускать кастомизацию (участие потребителя) актуализации и производства ресурсов, продуктов и услуг, использовать развитые когнитивные составляющие.

Следует отметить, что именно структура и базы картографических данных

представляют основу для интеграции всех видов других тематических данных ИПД МД. Однако задействование ИПД МД различных источников пространственных данных, как правило, вызывает необходимость приведения разнородных данных к общему стандарту, повышения их качества (точности, достоверности и т.д.), добавления или улучшения метаданных. Это требует разработки и использования общих для ИПД МД моделей пространственных данных (таких, например, как универсальная модель гидрографических данных IHO S-100).

С учетом обсуждаемых требований целесообразной является структура ИПД МД, состоящая из шести комплементарных сред (рис. 2).

Рис. 2. ***Структура ИПД МД на уровне сред***

Среда обеспечения целостности и развития ИПД МД (СОЦР) объединяет базовые отраслевые технологии (например, технологии координатно-временного обеспечения, картографирования, управления движением), геопространственную основу (координатную, геодезическую, картографическую, высотную, гравиметрическую основы, уровенные поверхности), а также многопрофильную сервис-ориентированную технологическую платформу. Обеспечивает целеполагание и формирование политик через нормы и стандарты, техническое регулирование в сфере морской деятельности. В рамках СОРЦ осуществляется управление изменениями и потоками работ, накопление, хранение, репликация и резервирование информационных ресурсов, ведется совокупность каталогов и регистров, аккумулируются добавленные знания. В целом СОЦР обеспечивает целостность геоинформационных ресурсов для морской деятельности, формирование потенциала роста и опережающее развитие сферы.

Среда обеспечения взаимодействия сторон (СОВС) способствует в ИПД МД интеграции составляющих инфраструктуру сред, взаимодействию стейкхолдеров, информационному обмену с внешней средой. СОВС включает каналы распределения информационных ресурсов, сети, коммуникационное оборудование и оснастку, систему геопорталов. В рамках СОВС осуществляется целевое сопровождение и доведение информации до потребителей, обеспечиваются идентификация, авторизация, шифрование, разграничение доступа, информирование, оповещение потребителей. Посредством среды также регулируется коммерческая составляющая морской деятельности, в частности, выполняются целевые маркетинговые мероприятия и поддержка продуктов и услуг, тарификация, при необходимости, биллинговые функции.

Среда совместного использования информации (ССИИ) предназначена для кастомизации производственных функций, формирования общей осведомленности участников морской деятельности и повышения информационной ценности ресурсов. ССИИ реализует на единой основе функции отображения, представления и визуализации, генерализацию, масштабирование, форматирование и трансформацию разнородных информационных ресурсов, а также совокупность геоаналитических функций. ССИИ обособлена от СОВС в силу наличия выраженной когнитивной составляющей и формирования средой целевых для сферы эмерджентных свойств.

Среда актуализации пространственных данных (САПД) осуществляет сенсорное взаимодействие с природной средой, физическими феноменами, мониторинг состояния внешней среды, операционных объектов и источников информационных ресурсов, сбор, измерение, описание, интерпретацию и верификацию пространственных данных. Кроме этого оценивается изученность операционной среды и объектов, осуществляется согласование и оперативное обновление пространственных данных. Основное предназначение САПД – обеспечение актуального состояния необходимых и достаточных для морской деятельности пространственных данных. Ключевая особенность функционирования САПД – проактивный подход к формированию гридированной системы верифицированных (при необходимости – сертифицированных) предметно-ориентированных баз пространственных данных по единым классификаторам и универсальным моделям данных.

Производственная среда (ПС) удовлетворяет спрос сферы деятельности на геопространственную продукцию и услуги. При этом обеспечивается производство геоинформационных продуктов класса B2B (Business to Business) и B2C (Business to Customer), производство и предоставление дистанционных, в том числе облачных, сервисов, формирование физических полей координатно-временного и навигационного обеспечения, специализированных информационных районов и направлений в контексте концепции Smart Oceans, навигационное оборудование театров. На основе ретроспективного анализа результатов деятельности формируется продуктовая матрица ИПД МД. Поддерживается полноценный технологический цикл разработки, сопровождения, версионирования и модифицирования программно-аппаратных изделий, картографических и геоинформационных продуктов, осуществляется сопровождение разработки перспективных производственных инструментальных средств, технологического оборудования и оснастки.

Среда пространственного моделирования и прогнозирования (СПМП) оказывает интеллектуальную поддержку принятия решений участниками морской деятельности, моделирование и прогнозирование развития ситуаций, мезомасштабное моделирование и прогнозирование состояний природной среды, гидрофизических полей и динамических процессов Мирового океана, извлечение из массивов данных, релевантных сфере деятельности знаний, решение сложных, с использованием потоковых данных информационно-аналитических задач. В рамках СПМП формируются предметно-ориентированные базы знаний, репозиторий моделей данных, среды и операционных ситуаций на море.

Существенным вопросом для результативности ИПД МД является развитие базовых отраслевых технологий.

ТЕХНОЛОГИЯ 3D КАРТОГРАФИРОВАНИЯ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ

Технологии, наряду с политиками в области морской деятельности, отраслевыми нормами и стандартами и, собственно, пространственными данными, являются системообразующим компонентом ИПД МД (рис. 3).

Сервис-ориентированная архитектура (service-oriented architecture,

SOA) технологической платформы наиболее полно соответствует целевому пространству ИПД МД. В обобщенном виде технологическая платформа ИПД МД представлена на рис. 4.

В рамках платформы технология картографирования (картирования) морских акваторий является базовой, формирует один из ключевых элементов геопространственной основы, объединяющей все другие тематические данные морской деятельности.

В настоящее время в сфере морской деятельности широко применяется картографирование (в контексте создания, составления, отображения физической карты) как процесс проецирования поверхности эллипсоида на плоскость. В силу технологических ограничений и относительной простоты построения двумерной ортогональной картографической проекции основными являются аналоговые (не цифровые) карты, методы работы с картографическими образами, модели и данные в 2D формате. Использование цифровых технологий коснулось преимущественно оцифровки готовых картографических произведений и не меняет сути традиционного, не цифрового 2D картографирования.

Требования сегодняшнего дня входят в противоречие с возможностями существующей технологии. В настоящее время существенно изменились требования потребителей к информативности карты, формам отображения геоинформационных ресурсов, подробности представления и детализации, способам потребления пространственных данных, выросли потребности в аналитических функциях, окончательно сформировался тренд интеллектуализации картирования. При этом почти всегда речь идет не столько о карте как интегрированном информационном результате, сколько о возможности использования абстрагированных (обособленных) локальных данных и/или информации в рамках заданной вариабельности некоторого контекста, отображении динамических процессов в физической среде в произвольном масштабе времени и т.д. Это по-прежнему потребность в картографировании, но в другом качестве, основаниях, формах и методах. Создание картографических произведений в виде перспективных карт на основе 3D цифровых моделей данных актуально как никогда.

Очевидно, что сфера морской деятельности нуждается в переходе на новую технологию картографирования морских акваторий, обеспечивающей качественный скачок в моделировании, визуализации, графической репрезентации любого пространственно-локализованного информационного ресурса

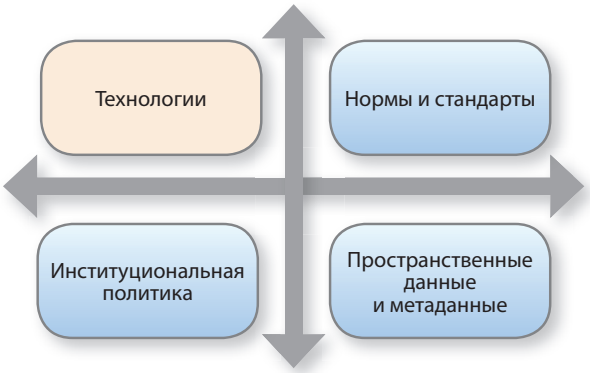


Рис. 3. ***Базовые компоненты ИПД МД***

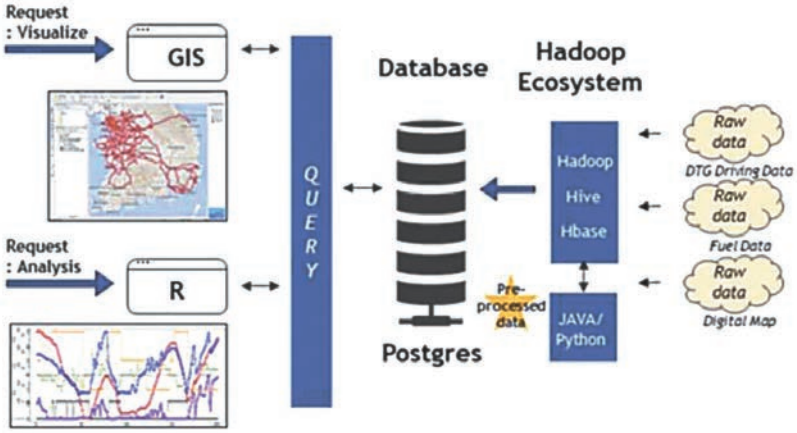


Рис. 4. ***Типовая технологическая платформа ИПД МД [11]***

(данных, информации, знаний). Сущностными моментами такого перехода являются:

- использование в картографировании интегрированных цифровых технологических цепочек (ИЦТЦ), т.е. выполнение работ на всех этапах цикла только с цифровыми массивами данных;
- изменение размерности картографирования с 2D на 3D, включая процессы моделирования, визуализации, репрезентации;
- использование единой для сферы деятельности объектно-ориентированной организации сбора, обработки и хранения данных ИЦТЦ,
- разработка инструментальных средств создания объектно-ориентированных моделей и баз пространственных данных;
- адаптация процессов и процедур

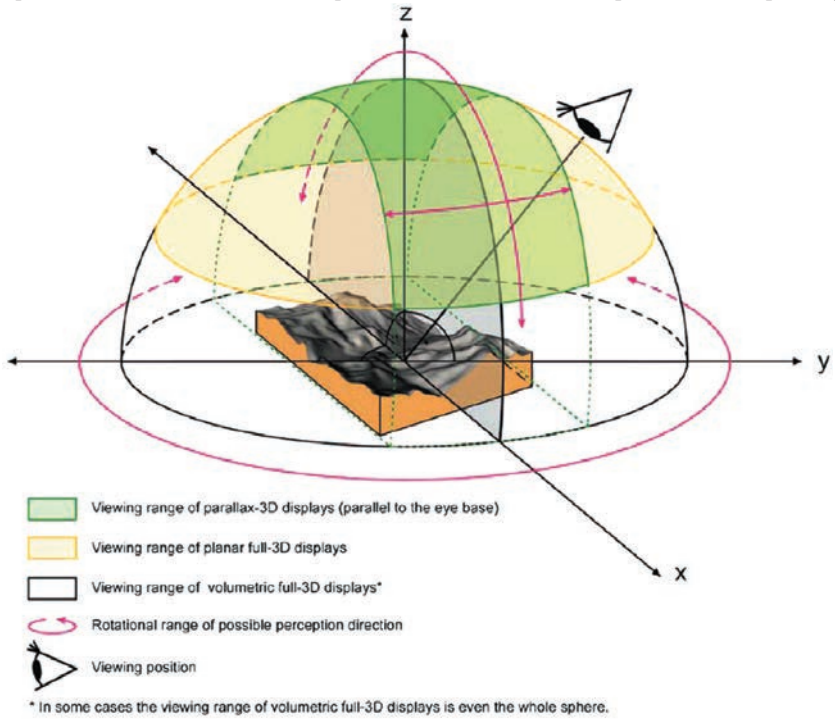


Рис. 5. ***Информативность 3D картографических образов [9]***

генерализации и масштабирования под условия 3D картографирования, разработка процедур рендеринга;
- смещение главных акцентов на процессы моделирования, отображения и анализа;
- создание возможности формирования непрерывных рабочих потоков и рабочих потоков в реальном масштабе времени;
- ориентация на обработку больших массивов данных (big data), потоковых данных и облачных вычислений.

Новая базовая технология картографирования позволяет существенно повысить информативность картографических продуктов и услуг, что можно проиллюстрировать с помощью рис. 5.

Следует отметить, что качественное раскрытие потенциала информативности 3D картографических образов связано с совместным решением целого ряда задач – выбором точки визирования, масштабированием, генерализацией, рендерингом модели – и является нетривиальным. Однако сам факт наличия такого потенциала открывает для картографирования новые возможности, например, по внедрению технологии расширенной реальности, организации 3D маршрутизации, 3D мониторинга объектов и явлений природной среды в реальном масштабе времени и др.

Обобщая сказанное, базовую технологию 3D картографирования морских акваторий можно представить в виде схемы (см. рис. 6):

В соответствии с технологией основной процесс 3D картографирования включает в себя пять этапов:

(i) формирование 3D объектно-ориентированной модели пространственных данных, моделирование реальных объектов, явлений (features);

(ii) фильтрация и предварительная обработка, типизация объектов, оптимизация информативности;

(iii) формирование 3D картографической модели;

(iv) масштабирование и рендеринг (проецирование на плоскость), получение перспективной электронной карты;

(v) репрезентация продукта или услуги (восприятие потребителем).

Картографическая генерализация выполняется последовательно на этапах (ii)-(iv).

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Необходимым условием создания новой базовой технологии картографирования морских акваторий является в первую очередь наличие отвечающей технологическим потребностям единой структуры пространственных данных (модели данных), правильно структурированных наборов данных, достаточных для формирования картографических моделей, использования различными приложениями и пространственной визуализации, а также инструментальных средств формирования моделей таких данных, их хранения и актуализации. Другими словами, речь идет о ядре технологии, главным отличительным признаком которого является использование объектно-ориентированной модели пространственных данных.

Объектно-ориентированная структура данных решает главные проблемы традиционной технологии – снимает ограничения в моделировании, обработке, трансфере, трансформации и визуализации данных, выпуске и внесении корректур в картографические произведения, непосредственное использование картографических полуфабрикатов, решение геоаналитических задач, переход к 3D технологиям. Существенно расширяется продуктовая матрица картографических произведений за счет широкого спектра верифицированных электронных и гибридных продуктов, выпуска продуктов в произвольных границах и масштабах. Значительно сокращаются картографические производственные циклы.

Архитектура созданной АО «Кронштадт Технологии» для ФКУ «280 ЦКП ВМФ» автоматизированной картографической системы морской деятельности (АКС МД) в полной мере соответствует объектно-ориентированной идеологии (рис. 7).

АКС МД [12] – это программно-аппаратный комплекс, основными функциями которого являются структурирование, хранение и совместное использование пространственных данных, обеспечение целостности, связности и реализация технологических процессов производства картографической продукции. Система так-

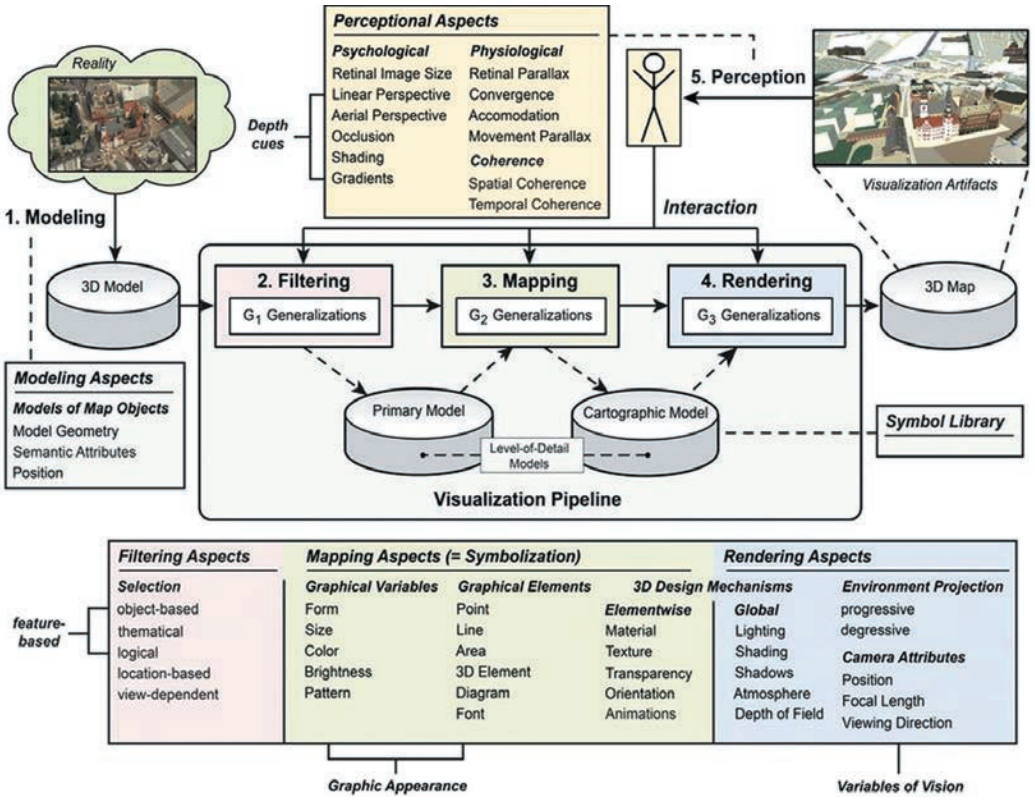


Рис. 6. ***Технология 3D картографирования (основной процесс) [10]***

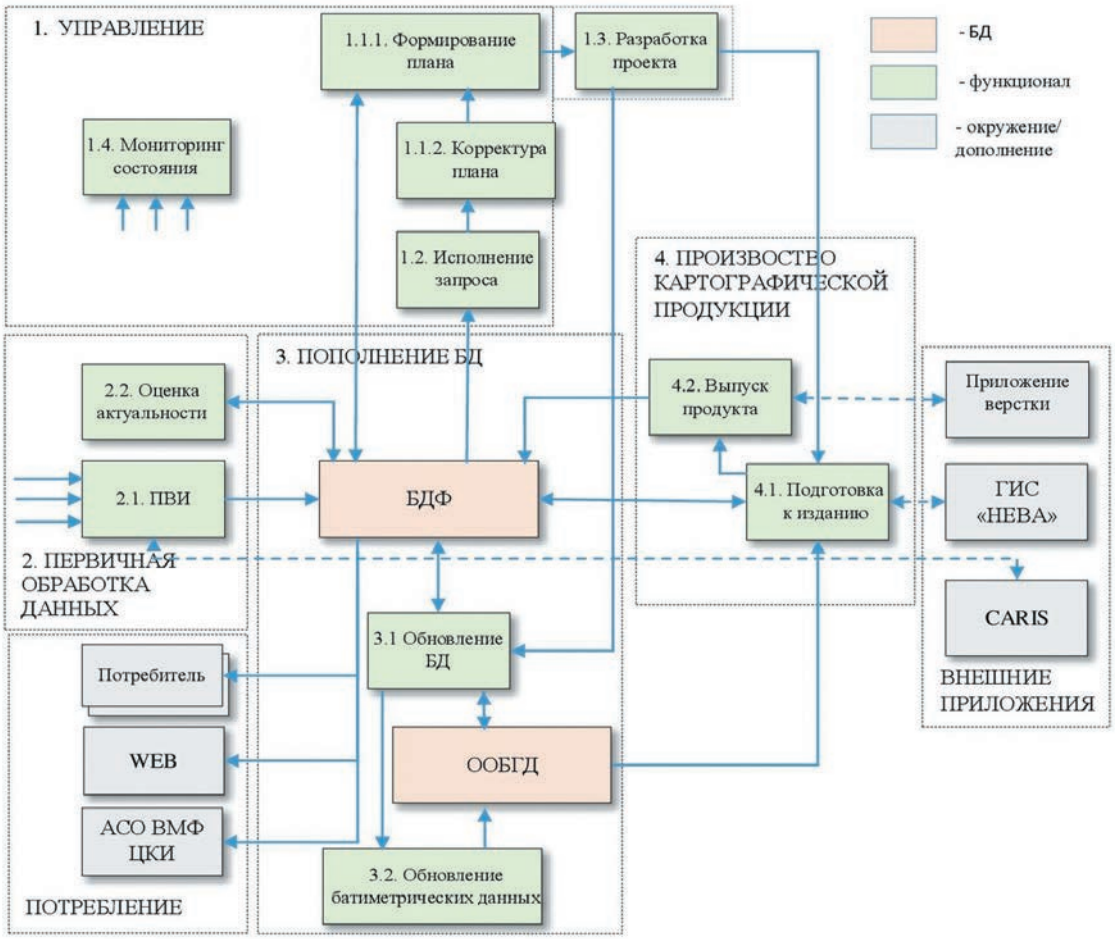


Рис. 7. ***Архитектура АКС МД***

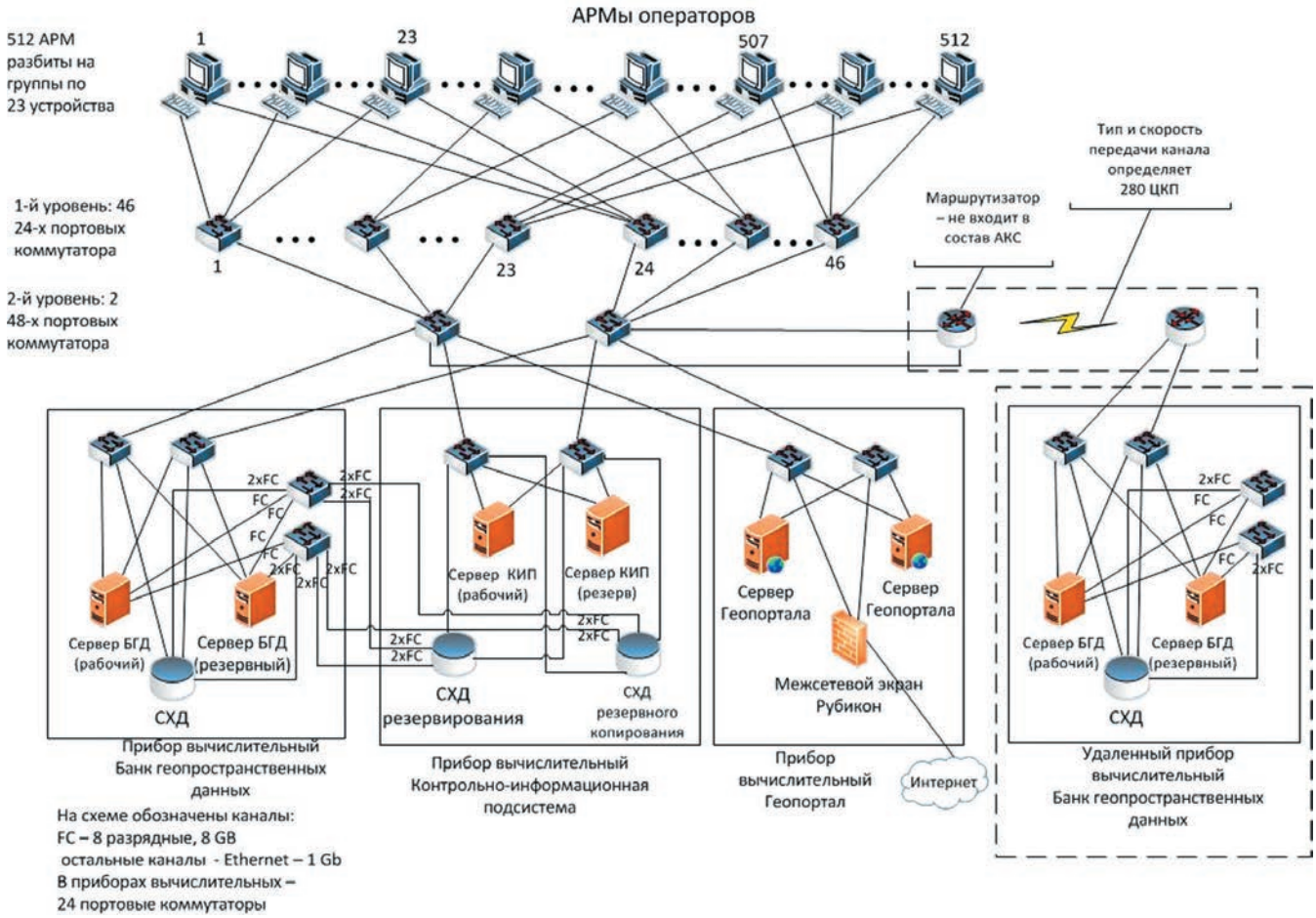


Рис. 8. ***Техническая структура АКС МД***

же выполняет роль связующего программного обеспечения с внешними программными комплексами объекта автоматизации и обеспечивает управление базовым государственным информационным ресурсом в области морской деятельности РФ.

АКС МД состоит из комплекса технических средств, специального программного обеспечения и комплекта эксплуатационной документации. Базовый комплект комплекса технических средств включает приборы вычислительные («Банк геопространственных данных», «Командно-информационная подсистема», «Геопортал»), автоматизированные рабочие места (АРМ) оператора и коммутационную оснастку (рис. 8). Количество технических средств определяют, исходя из параметров среды функционирования на объекте автоматизации.

Система использует структуру данных на основе Универсальной модели гидрографических данных (стандарт IHO S-100 [8]). Сбор, подготовка и согласование объектно-ориентированных наборов данных осуществляются формализованным образом с использованием ГИС «Нева» и ПО CARIS HIPS&SIPS. Структурированные данные хранятся в объектно-ориентированной базе геопространственных данных (ООБГД), используемой для создания и обновления цифровых макетов издательских оригиналов (ЦМИО) картографических произведений. Исходные материалы, картографические полуфабрикаты и продукты хранятся в файловом хранилище БДФ.

Производственный цикл актуализации пространственных данных (сбор, подготовка, согласование, хранение) отделен от процессов подготовки ЦМИО и производства картографической продукции, что обеспечивает параллельное протекание рабочих потоков и сокращение технологического цикла производства. Реализация рабочих потоков сопровождается версионированием с системой разрешения конфликтов. Это позволило организовать совместное одновременное использование информационных ресурсов АКС МД независимыми группами пользователей, исключив при этом дублирование и фрагментацию процессов и результатов.

На базе АКС МД планируется построение разноплановых приложений и прикладных дистанционных сервисов. Применительно к Арктической зоне это целевое информационное и координатно-временное сопровождение подвижных пилотируемых и беспилотных систем, мониторинг развития опасных природных явлений и аварийных ситуаций, управление береговой линией и защита побережья и др. При этом характерным для СМП является то, что в силу неразвитости и неполноты ИПД, ограниченной территориальной доступности, сложных климатических условий и слабой заселенности от дистанционных геопространственных и картографических сервисов зависят практически все виды деятельности в этом регионе: от управления прибрежной зоной (УПЗ) и ресурсами, пространственного планирования до health management, организации досуга и туризма.

Таким образом, первый шаг в создании и внедрении базовой технологии 3D картографирования морских акваторий в виде разработки АКС МД сделан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ключевой составляющей ИПД МД являются технологии, в частности технологии картографирования. Их развитие – задача первостепенной важности.

Переход с традиционной технологии 2D картографирования на технологию 3D картографирования морских акваторий – базовый элемент развития всех видов морской деятельности, который обеспечивает максимизацию экономических, социальных и экологических выгод ее участникам.

Автоматизированная картографическая система морской деятельности использует передовые достижения в области картографирования и знаменует собой создание ядра технологии 3D картографирования – объектно-ориентированной платформы для пространственных данных – как первого шага в реализации развитой интеллектуальной информационной среды морской деятельности.

АКС МД в рамках технологии 3D картографирования является отправной точкой для построения системы дистанционных, базирующихся на пространственных данных сервисов, ориентированных на районы и акватории со сложными условиями плавания и жизнедеятельности, прежде всего СМП и Арктическую зону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства РФ от 30 августа 2019 г. № 1930-р «О Стратегии развития морской деятельности РФ до 2030 года».
2. *Фуко Мишель*. Археология знания. – СПб.: Гуманитарная Академия, 2020. – 416 с.
3. *Ackoff R.* From Data to Wisdom/Journal of Applies Systems Analysis.– 1989.– Vol. 16. – P. 3–9.
4. Концепция навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности Российской Федерации (Проект). – СПб.: УНиО МО РФ, 2010. – 35 с.
5. Spatial Data Infrastructures «The Marine Dimension». – Guidance for Hydrographic Offices. – Monaco: IHO.– 2017. – Publ. C-17. – Second Ed. – Vers. 2.0.0. – January .
6. Spatial Data Infrastructure (SDI) Manual for the Americas .– Tenth United Nations Regional Cartographic Conference for the Americas, New York, 19–23August, 2013. - Rio de Janeiro: PC-IDEA, 2013.
7. ГОСТ Р 58570–2019. Инфраструктура пространственных данных. Общие требования.
8. S-100. IHO Universal Hydrographic Data Model (Ed. 4.0.0, December 2018) - -URL: https://iho.int/en/standards-and-specifications (дата обращения 2021-02-03).
9. *Knust Claudia*. Manfred Ferdinand Buchroithner. Principles and Terminology of True-3D Geovisualisation // The Cartographic Journal. – 2014. – 51(3):August. –P.191–202.
10. *Semmo Amir, Trapp Matthias, Jobst Markus, Döllner Jürgen*. Cartography-Oriented Design of 3D Geospatial Information Visualization - Overview and Techniques// The Cartographic Journal. – 2015.– August.
11. *Панченко Евгений*. Spatial Data Science – наука о пространственных данных. Зачем про неё нужно знать –URL: https://blogs.esri-cis.ru/2019/03/27/spatial-data-science (дата обращения 2021-03-05).
12. Научно-технический отчет об ОКР «Разработка автоматизированной картографической системы сбора, обработки геопространственных данных и подготовки к изданию морской картографической продукции в интересах автоматизированных систем и комплексов ВМФ и обеспечения навигационной безопасности». – СПб.: АО «Кронштадт», 2021. – 275 с.

ЭКНИС «БЕРИНГ»

В.Б. Шариков, *канд. техн. наук,*
руководитель отдела аналитики ООО «Стеор-НСБ»,
контакт. тел.+7 (903) 099 0774

Обеспечение безопасности мореплавания – ключевая проблема, оказывающая влияние на сохранение жизни человека на море, предотвращение загрязнения окружающей среды, сохранение морских ресурсов и экологии в целом, а также на эффективную эксплуатацию морского транспорта. Рост интенсивности судоходства, увеличение размеров морских судов, скоростей движения на морских путях оказали существенное влияние на повышение аварийности на море. Несмотря на интенсивное развитие технических средств, методов и способов решения задач навигации на рубеже XX и XXI вв., аварийность на море продолжает оставаться на достаточно высоком уровне: ежегодно в море происходит более 200 крупных аварий судов, которые приводят к потере людей, миллионов тонн грузов и загрязнению окружающей среды. Понимание необходимости разработки новой стратегии, направленной на повышение безопасности плавания в 2008 г., на 54-й сессии Комитета по безопасности мореплавания Международной морской организации был принят проект концепции разработки и внедрения е-Навигации [1], которая должна определить характер и стандарты морской отрасли на будущие десятилетия.

Е-НАВИГАЦИЯ

Главная цель е-Навигации, сформулированная Международной морской организацией,— повышение уровня безопасности мореплавания и судоходства при более полном учете навигационной, гидрографической и метеорологической информации.

Концепция е-Навигации определяет три основных компонента:

- бортовые интегрированные навигационные системы, снабжающие судоводителя необходимой информацией для принятия решения и управления судном;
- береговые и спутниковые системы навигации и управления движением судов;
- инфраструктура связи.

Базовые элементы бортовых интегрированных навигационных систем:

- высокоточные глобальные системы позиционирования.
- электронные картографические системы.
- средства наблюдения.
- системы комплексной обработки навигационной информации и другие.

ЭКНИС «БЕРИНГ»

Учитывая потребности активно развивающейся судостроительной отрасли Российской Федерации, выполнения плана кораблестроения, компания АО «Ситроникс-КТ» в рамках концепции е-Навигации осуществляет разработку интегрированной навигационной системы, одним из ключевых компонентов которой является электронная картографическая навигационная информационная система (ЭКНИС) «Беринг».

Система «Беринг» предназначена для решения широкого круга навигационных задач кораблевождения (судовождения) как в одиночном (standalone) исполнении, так и в составе интегрированных систем. Основное предназначение ЭКНИС «Беринг» — обеспечение навигационной безопасности плавания.

ЭКНИС способствует решению следующих основных (базовых) задач [2–4]:

1. Работа с коллекцией официальных электронных навигационных карт в формате S-57, зашифрованных в соответствии со схемой защиты S-63. В ближайшей перспективе запланирована поддержка электронных карт в форматах семейства стандарта IHO S-100.
2. Решение базовых навигационных задач с использованием системной электронной навигационной карты, в том числе масштабирование, перерисовка и выполнение измерений на системной электронной навигационной карте (СЭНК).
3. Выполнение автоматической и ручной корректуры СЭНК.
4. Создание и отображение карт пользователя, ведение баз данных пользовательской информации.

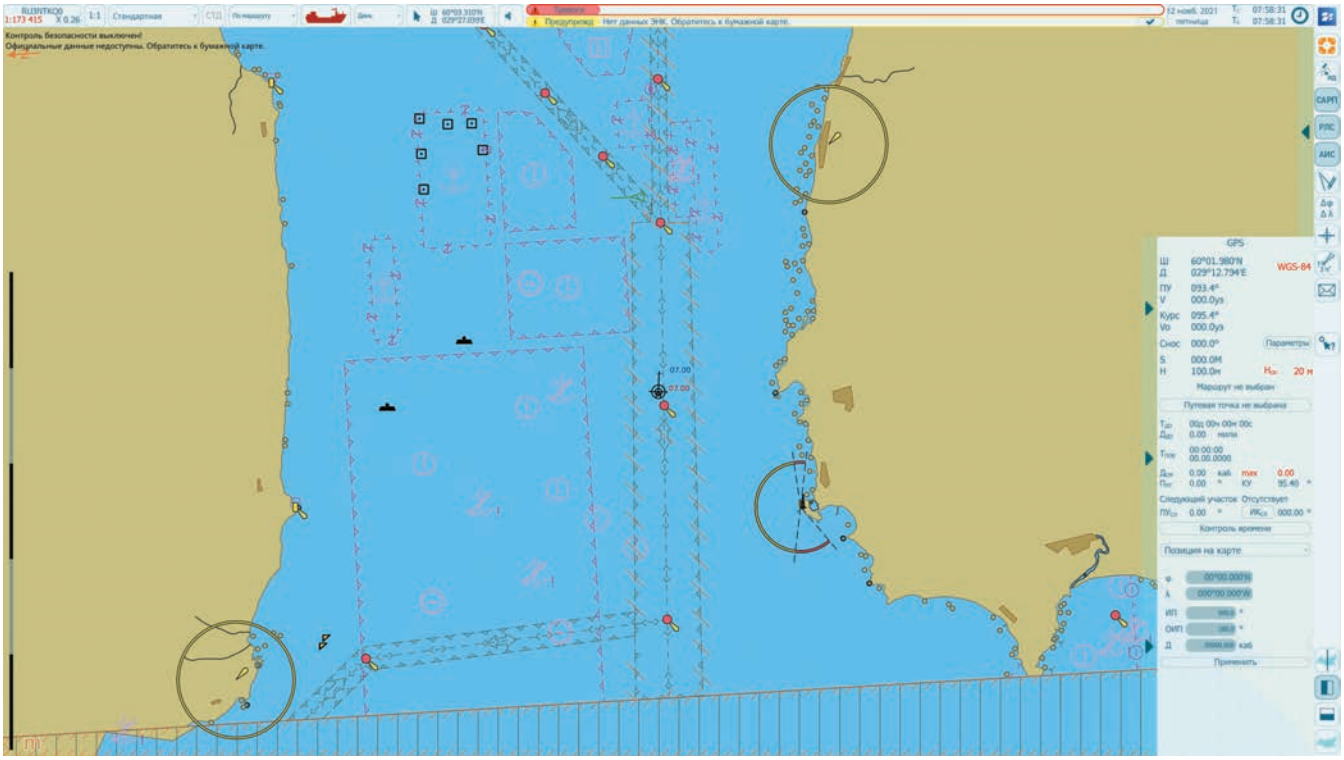


Рис. 1. ***Интерфейс ЭКНИС «Беринг»***

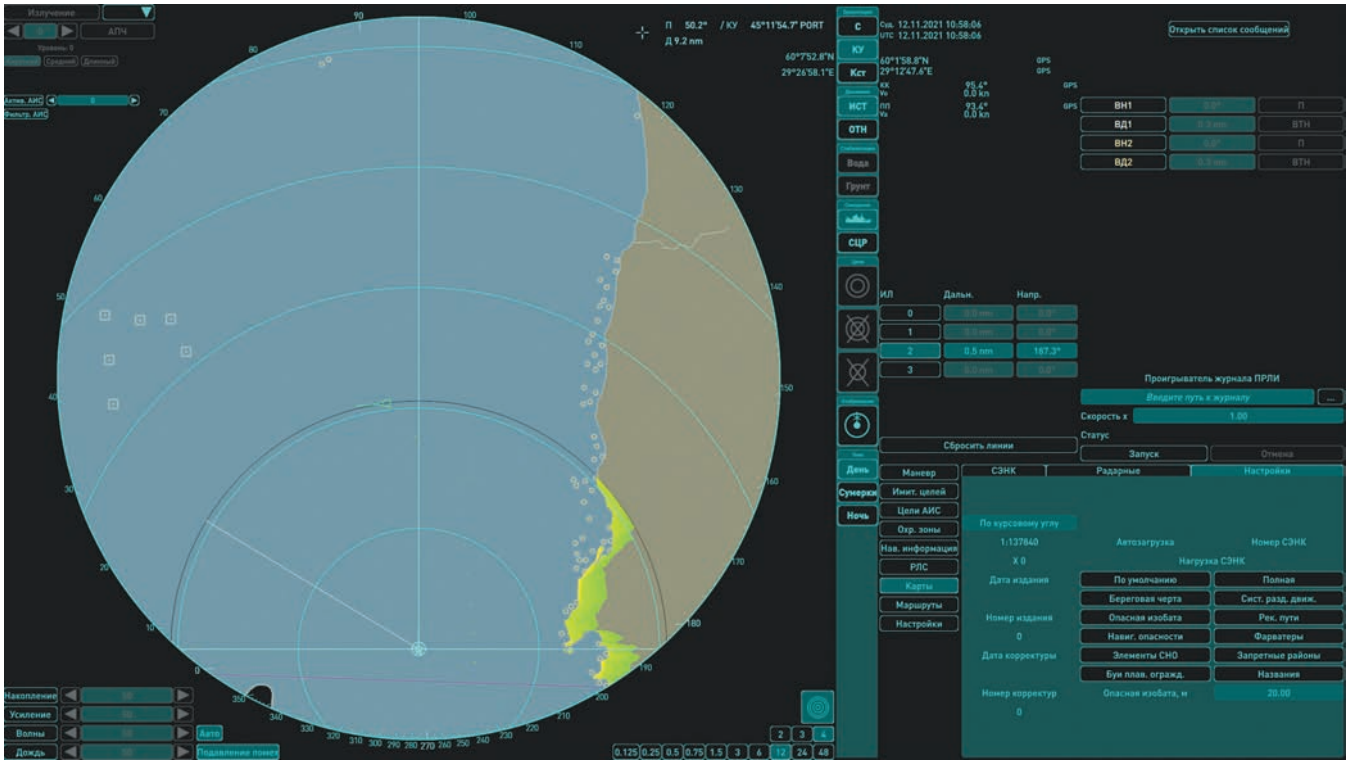


Рис. 2. ***Радиолокационный дисплей «Беринга»***

5. Выполнение предварительной прокладки и предварительных навигационных расчетов на поход с возможностью подключения к путевым точкам дополнительной текстовой и графической информации.

6. Контроль следования судна назначенным маршрутом и своевременности прохождения путевых контрольных точек.

7. Автоматический контроль приближения к навигационным опасностям по заданным критериям с выдачей аварийно-предупредительных сигналов.

8. Отображение навигационной обстановки и целей по данным судовых систем наблюдения (в том числе АИС) с определением степени опасности целей.

9. Наложение (оверлей) первичной радиолокационной информации.

10. Выполнение обсерваций по измеренным навигационным параметрам и другие задачи.

Указанные задачи – общие для всех ЭКНИС, они определены международными и отечественными стандартами, требованиями Российского морского регистра судоходства [5]. При создании «Беринга» эксперты и разработчики АО «Ситроникс КТ» опирались не только на требования этих документов, но постарались обобщить опыт использования существующих систем, их преимущества и недостатки. В качестве такого недостатка, например, можно отметить отсутствие в традиционных ЭКНИС комплексной обработки навигационной информации. Как правило, ЭКНИС решает навигационные задачи на основании данных о географических координатах места, получаемых напрямую от приемника Глобальной навигационной спутниковой системы (GPS или ГЛОНАСС), не проверяя достоверность полученной информации. В «Беринге» реализован модуль комплексной обработки однородной и разнородной навигационной информации, позволяющий повысить ее надежность, получить сглаженные вероятнейшие значения навигационных данных, используемых в задачах.

Отличия системы «Беринг» от других ЭКНИС:

1. Работает под управлением операционной системы AstraLinux, что позволяет устанавливать ее на государственные объекты, в том числе и для работы в контуре закрытой информации.

2. Построена по модульному принципу, что позволяет изменять набор задач в зависимости от требований заказчика. Для «Беринга» разработаны и продолжают разрабатываться дополнительные программные модули, существенно расширяющие базовые возможности системы.

3. Обеспечивает отображение не только картографических данных (ЭНК), но и других информационных слоев как в векторных, так и в растровых форматах.

4. Пользовательский интерфейс системы спроектирован таким образом, чтобы системная электронная карта занимала максимально возможную площадь дисплея, что помогает судоводителю получать максимально возможную картографическую и другую информацию.

5. Возможность использования в широтах выше 85° (опционально).

МОДУЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА

Система «Беринг» построена по принципам модульной архитектуры, в которой все ее элементы находятся в едином информационном пространстве. Унификация программных компонентов позволяет сократить время реализации проекта, повысить надежность работы системы и сделать поддержку уже сданных проектов более качественной и оперативной.

В рамках концепции е-Навигации в «Беринге» разработан и продолжает развиваться функциональный модуль, позволяющий выполнять следующие задачи:

1. Подключение к российскому сегменту Морской коммуникационной платформы.

2. Обмен маршрутами в направлении берег–судно и судно–берег во взаимодействии со службами управления движением судов (в перспективе и в направлении судно–судно).

3. Прием оповещений по безопасности при возникновении опасных ситуаций (например, приближение к опасным районам, отклонение от линии рекомендованного пути) от служб управления движением судов в автоматическом режиме.

4. Обмен сообщениями в направлении берег–судно и судно–берег (в перспективе и в направлении судно–судно).

На базе ЭКНИС «Беринга» разработан и готовится к сертификации ра-

диолокационный дисплей и, кроме того, разработана автономная навигационная система (АНС), предназначенная для обеспечения судовождения автономных судов. АНС позволит перейти на новый уровень автоматизации управления судном, сделать значительный шаг к безэкипажному судовождению.

Функции «Беринга» могут быть расширены за счет применения программных модулей, используемых для автономного судовождения, предназначенными для решения задач расхождения с целями в автоматическом режиме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении хочется отметить то, что ЭКНИС «Беринг» – инновационный продукт компании «Ситроникс КТ» и одна из основных компонент интегрированной навигационной системы, бортовой составляющей концепции e-Navigation. В ней реализованы не только классические навигационные задачи судовождения, но и современные методы обработки навигационной информации, алгоритмы расчета маршрутов и другие технологии, соответствующие стратегии развития е-Навигации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Резолюция Комитета по безопасности на море Международной морской организации, MSC 85/26/Add.1, 2008 г.
2. Резолюция Международной морской организации MSC.232(82), 2006.
3. Стандарт IEC 61174. Изд. 4. «Эксплуатационные требования к ЭКНИС, методы испытаний и требуемые результаты испытаний». (Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems –Electronic chart display and information system (ECDIS) – Operational and performance requirements, methods of testing and required test results).
4. ГОСТ Р МЭК 61174–2009. Морское навигационное оборудование и средства радиосвязи. Электронная картографическая навигационная информационная система (ЭКНИС). Эксплуатационные и технические требования, методы и требуемые результаты испытаний.
5. Правила по оборудованию морских судов. – Ч. V: Навигационное оборудование/ Российский морской регистр судоходства.– СПб.,2020. ■

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ, ОБРАБАТЫВАЕМОЙ НА ЗАЩИЩАЕМЫХ ОБЪЕКТАХ ИНФОРМАТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЯ

В.Г. Ерышов, *канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения,*
Р.Д. Куликов, *специалист по интернет-проектам, АО «Армалит», контакт. тел. (812) 603 4077, доб. 100, +7 (904) 600 5380*

В условиях высоких темпов цифровизации многих сфер деятельности общества, бизнес-процессов предприятий, применения новых информационных технологий, новейших систем обработки информации, используемых на защищаемых объектах информатизации (ОИ), наблюдается количественный и качественный рост угроз информационной безопасности (ИБ).

Защищаемые ОИ организаций представляют собой автоматизированные системы (АС) различного уровня и назначения, системы связи, отображения и размножения вместе с помещениями (кабинетами), в которых они установлены, предназначенные для обработки и передачи информации, подлежащей защите, а также сами помещения (переговорные, конференц-залы), предназначенные для ведения конфиденциальных переговоров.

Основные и вспомогательные технические средства обработки информации (ТСОИ), такие как ЭВМ, коммутационное, серверное оборудование, а также сами защищаемые помещения (ЗП) и их системы обеспечения (электроснабжения, отопления, кондиционирования, освещения) обладают различными естественными техническими каналами утечки информации (ТКУИ), через которые нарушитель ИБ может осуществлять несанкционированный съем (добывание) защищаемой информации.

Типовыми естественными ТКУИ современных ОИ являются акустические, виброакустические каналы, каналы утечки конфиденциальной информации (КИ) через побочные электромагнитные излучения и наводки (ПЭМИН), по цепям электропитания и заземления, ВЧ облучения и навязывания. Кроме того, нарушитель ИБ потенциально имеет возможность и будет стремиться реализовать свои цели по установке на защищаемые ОИ специальных технических средств (СТС) негласного добывания КИ, образуя искусственные ТКУИ.

Несмотря на все эти условия и факторы возникновения угроз ИБ, многие сотрудники, допущенные к КИ, халатно относятся к соблюдению требований к режиму обработки КИ, обеспечению ИБ и защите КИ от ее утечки по техническим каналам.

Продолжают совершенствоваться и методы и средства ведения промышленного шпионажа, негласного добывания КИ, а также кражи коммерческой тайны нарушителями ИБ (охотниками за промышленными секретами).

В связи с этим актуальными становятся вопросы защиты информации от негласного добывания КИ, а также возрастает важность и сложность создания в организации эффективной системы технической защиты КИ (ТЗКИ), предотвращающей вышеописанные угрозы.

Для этого необходимы теоретические и практические исследования оценки нарушителя ИБ, его возможностей по негласному добыванию КИ, а также эффективности функционирования системы ТЗКИ организации. Данные исследования заключаются в определении вероятностно-временных зависимостей процесса негласного добывания информации нарушителем ИБ, технической защиты КИ от данных угроз и оценки важных, с точки зрения исследователя, закономерных отношений между показателями данного процесса.

Наиболее эффективным методом исследований такого рода сложных процессов и систем является моделирование, когда строится модель системы ТЗКИ и изучаются ее свойства, характеристики и зависимости.

В связи с этим рассмотрим моделирование системы ТЗКИ защищаемого ОИ предприятия, предотвращающей угрозы негласного добывания КИ нарушителем ИБ, для выявления и исследования вероятностно-временных зависимостей событий и состояний.

Любая модель – это формализованное описание процесса (информационного, управленческого, организационного и др.), структура которого определяется его объективными свойствами и субъективным целевым характером исследования.

Модель системы ТЗКИ – это формализованное, математическое описание процесса негласного добывания КИ нарушителем ИБ, а также организационно-технических мер системы ТЗКИ по защите КИ, обрабатываемых на ОИ, от ее утечки по ТКУИ, а также вероятностно-временных зависимостей ее элементов.

Для оценки действий нарушителя ИБ и эффективности функционирования системы ТЗКИ, выявления вероятностно-временных зависимостей событий и состояний процессов, происходящих в ней, могут быть использованы вероятностные математические модели, описываемые в терминологии теории марковских случайных процессов.

Марковский процесс – это случайный процесс, происходящий в системе, если для любого момента времени вероятностные характеристики процесса в будущем зависят только от его состояния в данный момент и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние [4].

Процесс, описывающий состояния системы ТЗКИ защищаемого ОИ предприятия, можно представить ориентированным графом состояний и описать в терминах теории марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем (рис. 1).

Процесс, описывающий состояния системы ТЗКИ – это такой процесс, когда в любой момент времени t множество его состояний системы S счетно и конечно, а переходы из одного состояния в другое происходят в любой момент времени t наблюдаемого периода [2, 3].

В разрабатываемой модели системы ТЗКИ предполагается, что переходы из одного состояния в другое происходят под воздействием пуассоновских потоков событий.

Исходными данными для модели системы ТЗКИ являются потоки событий, данные, полученные на основе экспертных оценок и материалов [2].

Для выявления вероятностных и временных характеристик процесса и системы для графа состояний в модели была составлена и решена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова.

Переходы из состояния в состояние в процессе функционирования системы ТЗКИ происходят под воздействием кусочно-стационарных пуассоновских потоков событий [2]. В этом случае можно выделить короткие временные интервалы времени, внутри которых поток считается приблизительно стационарным $\lambda_i(t) = \lambda_i = \text{const}$ при $t_н < t_c \le t_н + \Delta t_c$, где $t_н$ – начало, Δt_c – длительность интервала квазистационарности [3].

Описание состояний процесса функционирования системы ТЗКИ ОИ представлено в таблице.

Таблица состояний процесса функционирования системы ТЗКИ ОИ описывает основные этапы как действий нарушителя ИБ по негласному добыванию КИ, так и защитных мер системы ТЗКИ. Каждая операция в модели характеризует материальное действие, требующее использования ресурсов, или логическое, требующее лишь взаимосвязи событий.

Для графа, представленного на рис. 1, была составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова (1):

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}P1(t) = P8(t)\cdot\lambda 81 - \\ -P1(t)\cdot(\lambda 12+\lambda 13); \\ \frac{d}{dt}P2(t) = P1(t)\cdot\lambda 12 - P2(t)\times \\ \times(\lambda 23+\lambda 24+\lambda 25+\lambda 28); \\ \frac{d}{dt}P3(t) = P1(t)\cdot\lambda 13 - \\ -P2(t)\cdot\lambda 23 - P3(t)\cdot\lambda 38; \\ \frac{d}{dt}P4(t) = P2(t)\cdot\lambda 24 - \\ -P4(t)\cdot(\lambda 46+\lambda 47+\lambda 48); \\ \frac{d}{dt}P5(t) = P2(t)\cdot\lambda 25 - P5(t)\cdot\lambda 58; \\ \frac{d}{dt}P6(t) = P4(t)\cdot\lambda 46 - \\ -P7(t)\cdot\lambda 76 - P6(t)\cdot\lambda 68; \\ \frac{d}{dt}P7(t) = P4(t)\cdot\lambda 47 - \\ -P7(t)\cdot(\lambda 76+\lambda 78); \\ \frac{d}{dt}P8(t) = P2(t)\cdot\lambda 28 + P3(t)\cdot\lambda 38 + \\ +P4(t)\cdot\lambda 48 - P8(t)\cdot\lambda 81. \end{cases} \quad (1)$$

Таблица

Описание состояний процесса функционирования системы ТЗКИ ОИ

№ п.п.	Наименование состояния
S_1	Сбор информации нарушителем ИБ о защищаемом ОИ (активное и пассивное наблюдение).
S_2	Система ТЗКИ ОИ не обеспечивает требуемую ТЗКИ.
S_3	Система ТЗКИ ОИ обеспечивает требуемую ТЗКИ.
S_4	Задание нарушителем ИБ выполнено (установлено СТС, перехват КИ по естественным ТКУИ).
S_5	Задание нарушителем ИБ не выполнено (не установлено СТС, нет перехвата КИ по естественным ТКУИ).
S_6	Система ТКЗИ ОИ обнаружила и предотвратила перехват КИ нарушителем ИБ.
S_7	Система ТКЗИ ОИ не обнаружила и не предотвратила перехвата КИ нарушителем ИБ.
S_8	Обработка (запись, документирование) результатов функционирования системы ТЗКИ, действий нарушителя ИБ.

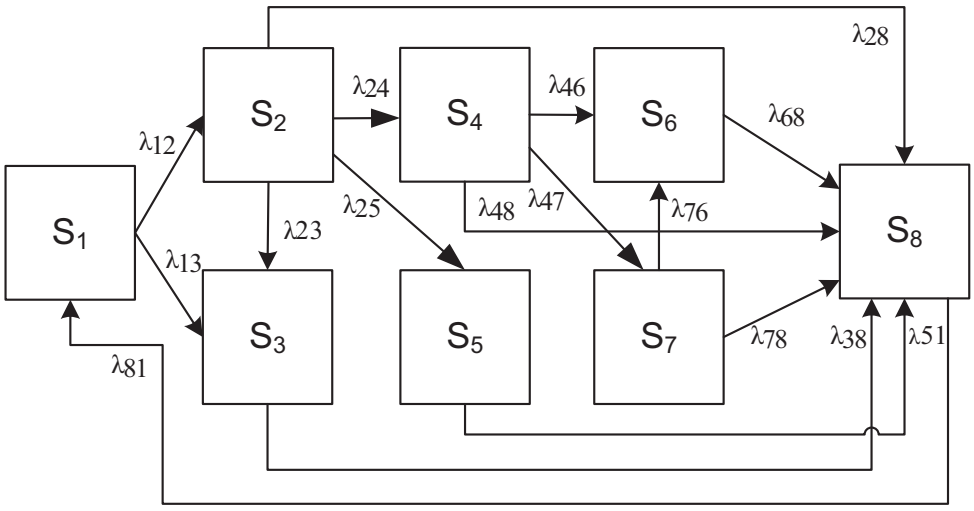


Рис. 1. ***Ориентированный граф состояний процессов системы ТЗКИ защищаемых ОИ предприятия***

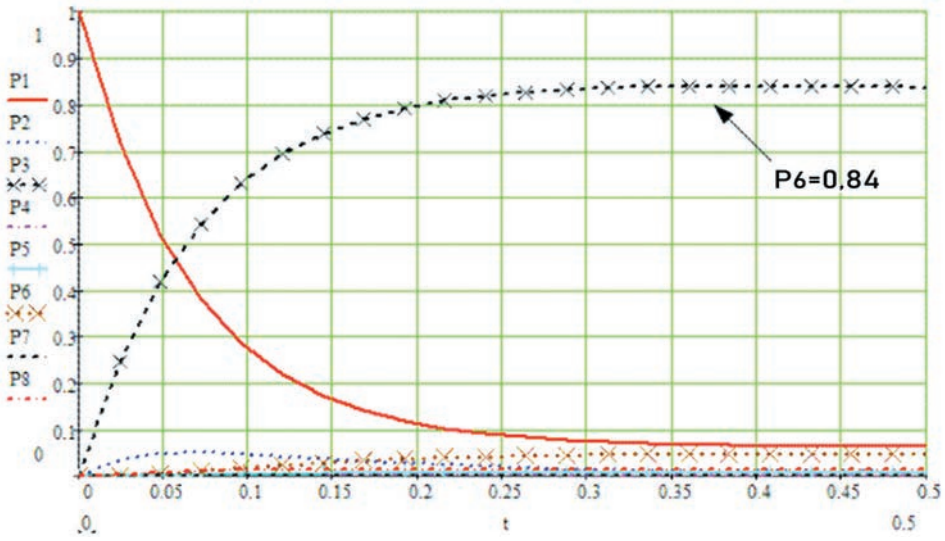


Рис. 2. ***Вероятностно-временные зависимости процесса функционирования системы ТЗКИ защищаемых ОИ предприятия***

Составленная система уравнений решалась с использованием пакета математического программирования Mathcad. Используемые в нем алгоритмы решения дифференциальных уравнений позволили получить количественные значения вероятностей нахождения событий исследуемого процесса системы ТЗКИ в зависимости от модельного времени (времени функционирования системы) – вероятностно-временные зависимости. Адекватность математической модели подтверждается непротиворечивостью полученных результатов моделирования известным данным, полученным в ходе практических исследований.

Результатами моделирования исследуемой системы ТЗКИ защищаемого ОИ являются вероятностно-временные зависимости, которые представлены на рис. 2.

Анализ результатов моделирования показал, что в рассмотренном примере наибольшей финальной вероятностью события в исследуемой системе ТЗКИ является вероятность: $P_6 = 0{,}84$. Это означает, что при исходных данных, использованных в расчете, система ТКЗИ защищаемого ОИ обнаружила и предотвратила установку СТС нарушителем ИБ и перехват КИ нарушителем ИБ.

Результаты, полученные в ходе моделирования, дают основание утверждать, что разработанная математическая модель отражает реальный процесс действий нарушителя ИБ по негласному добыванию КИ, обрабатываемой на ОИ, а также эффективное функционирование системы ТЗКИ защищаемого ОИ.

Адекватность разработанной модели оценивалась по основным группам показателей, соответствующим основным этапам разработки модели:

- полнота отображения и точность взаимосвязей основных событий исследуемого процесса;
- глубина и существенность отображения основных факторов и условий;
- достоверность (доказательность) отображения.

Таким образом, разработанная математическая модель позволила получить вероятностные и временные зависимости и характеристики, описывающие все состояния исследуемого процесса функционирования системы ТЗКИ. Выходные данные разработанной модели могут являться исходными данными для методик оценки эффективности защиты информации от ее утечки по естественным и искусственно созданным ТКУИ на защищаемом ОИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вентцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, Гл. редакция физ..-матем. лит-ры., 1991. – 384 с.
2. *Ерышов В. Г.* Модель процесса технической защиты конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте информатизации // Безопасность: Информация, Техника, Управление: сб. статей международ. науч. конфер., Санкт-Петербург, апрель 2021. – СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2021.
3. *Хорев А. А.* Защита информации от утечки по техническим каналам. – Ч. 1: Технические каналы утечки информации: Учеб. пособие. – М.: Гостехкомиссия России, 1998. – 320 с.
4. *Ярочкин В. И.* Технические каналы утечки информации. – М: ИППКИР, 1994. – 102 с.

Упрощенная схема этапов возгорания и развития пожара в отсеке корабля показана на функциональной схеме (рис. 1).

Основным элементом комплексной системы контроля пожарной опасности (СКПО) в корабельном помещении является совокупность средств, обеспечивающих:

– контроль за параметрами, определяющими степень пожароопасности в охраняемых помещениях;
– комплексную обработку измерительной информации;
– выдачу результирующего сигнала в качестве информационной поддержки оператора;
– автоматическое включение средств пожаротушения (при необходимости), как стационарных, так и модульных.

Быстродействие такой системы и достоверность выдаваемых ею решений существенным образом зависит от принятых к реализации методов обработки и анализа информации, поступающей от контрольно-измерительного комплекса.

К типовым источникам информации, используемым в перспективных системах противопожарной сигнализации и пожаротушения, относятся:

1) тепловые извещатели, основанные на использовании тепловых свойств газов, веществ и явлений;

2) дымовые извещатели:

– оптоэлектронные, на основе инфракрасных диодов или фотодиодов;
– использующие ионизированный принцип обнаружения (источники слабого радиоактивного излучения 0,9 μк Кюри);

3) извещатели пламени – ультрафиолетовые и инфракрасные;

4) комбинированные извещатели – совмещение теплового и дымового излучения;

5) аспирационные извещатели – прокачка воздуха через специальную камеру;

6) извещатели газового анализа для контроля химического состава воздуха;

7) тепловизионные извещатели для дистанционного контроля распределения температуры;

8) пожарные извещатели для взрывозащиты взрывоопасных помещений (искробезопасные пожарные извещатели, радиоизотопные извещатели).

В каждом конкретном случае состав и характеристики первичных источников информации о пожароопасности в охраняемом помещении могут меняться. Однако во всех случаях имеется общность. В блоки СКПО, вырабатывающие результирующее решение, входная информация поступает в виде многомерных хаотических временных рядов.

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ХАОТИЧЕСКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ПОЖАРООПАСНОЙ СИТУАЦИИ В КОРАБЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

А.В. Макшанов, *д-р техн. наук, проф. ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова,*
В.А. Колесник, *д-р техн. наук, проф.,*
Д.В. Быков, *канд. техн. наук, зам. начальника кафедры,*
ВМПИ ВУНЦ ВМА им. Адмирала флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова,
Е.Н. Антонова, *аспирант ГУМ РФ им. адмирала С.О. Макарова,*
контакт. тел. +7 (921) 325 2493, +7 (921) 341 8771, +7 (921) 977 7199

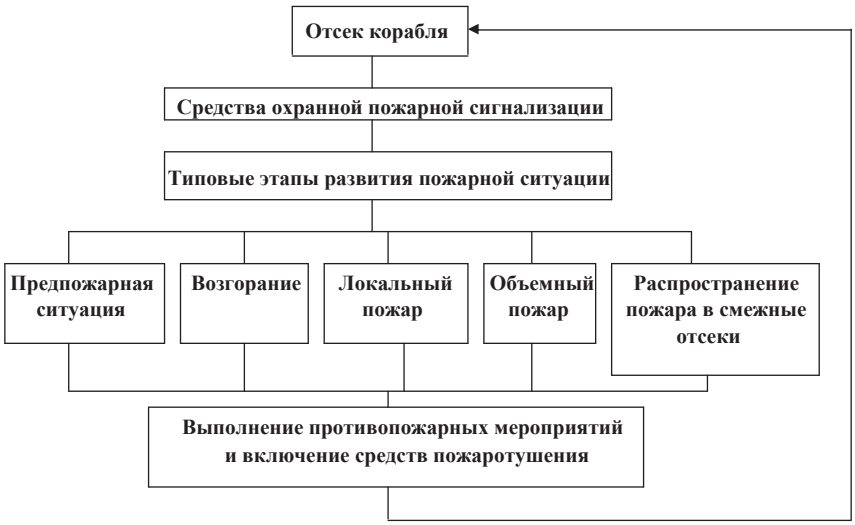


Рис. 1. ***Функциональная схема развития пожара в корабельном отсеке и обнаружения его признаков на различных этапах***

При решении задач комплексирования измерительной информации, поступающей от пространственно-распределенных датчиков одной физической природы или от датчиков различной физической природы, имеет место следующий экспериментально проверенный факт: при зарождении какой-либо ситуации, ведущей к сбою в работе системы, разладка первоначально наблюдается на уровне изменения системы корреляционных связей между измерительными каналами, затем – на уровне изменения системы корреляционных связей внутри измерительных каналов и только на последней стадии – на уровне изменения самих измеряемых параметров (их математических ожиданий).

В статье рассматривается подход к решению проблемы математического обеспечения систем принятия решений в области многоканального мониторинга больших систем, а также дается анализ пространственно-временной динамики многомерных временных рядов измерений различной физической природы. Рассматриваются высоко динамичные хаотические процессы, мелкоячеистую структуру которых не удается идентифицировать стандартными спектральными методами анализа. Предлагается технология снижения размерности на основе представления матриц данных в первом сингулярном базисе и множественной регрессии в пространстве проекций.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть имеется m-мерный хаотический [2, 17] временной ряд, представленный в виде матрицы $X = [x_{ij}]$, i=1, .., N, j=1,.., m измерений в относительной шкале, так что x_{ij} – безразмерные случайные величины. Хаотичность означает возможные быстрые перестройки локальной структуры ряда, что делает проблематичным использование методов, требующих усреднения по достаточно длинным окнам, в том числе методов спектрального анализа в параметрической и непараметрической форме. Этот ряд заведомо будет содержать локальные тренды и значительные колебания в корреляционной структуре, в частности, участки турбулентности и участки, включающие периодические составля-

ющие [2, 12, 22]. Ставятся следующие задачи:

- прогнозирование на возможно большее число шагов;
- выявление участков аномальной структуры;
- выявление участков с локальными периодическими составляющими.

Классический подход к анализу таких рядов основан на предположении стационарной связанности компонент либо самого ряда X, либо рядов его конечных разностей [2–4, 10], что позволяет получить корректную оценку средних по компонентам и взаимной ковариационной матрицы $\hat{\Sigma}(m \times m)$. Проектируя столбцы полученной матрицы на собственные векторы матрицы $\hat{\Sigma}$, получаем m некоррелированных временных рядов, вклад каждого из которых в исходный многомерный ряд оценивается его дисперсией. Эти ряды изучаются по отдельности стандартными методами анализа одномерных рядов [4, 13]. В случае неправомочности таких предположений анализ проводится на скользящем окне шириной L, что предполагает, в частности, оптимизацию по ширине окна и величине перекрытия соседних окон.

Особый интерес представляет случай данных с большой размерностью m и высокой динамикой, когда ширина окна L не может быть сделана достаточно большой для получения корректной оценки ковариационной матрицы. Здесь необходимы методы целенаправленного проектирования и снижения размерности, не основанные на спектральных методах (использовании оценок ковариационных матриц) [4, 24].

Пример. На рис. 2 приведены данные о динамике пяти динамических параметров турбулентного газового потока. Результаты измерений представлены в виде матрицы X размерностью $<N \times m>$, $m = 5$, $N = 144\,000$.

Для выявления возможных тонких структур сравним среднее $\hat{x}$ и ковариационную матрицу $\hat{\Sigma}$, оцененные по ряду первых конечных разностей в целом (база), и такие же характеристики $\hat{y}(k), \hat{S}(k)$, вычисленные на скользящем шириной L с последовательным сдвигом окна на d шагов (k – номер скользящего окна). Для этого сравнения используем стандартные статистики многомерного дисперсионного анализа (MANOVA) [13]:

статистику Уилкса $W(k) = \log\left(\frac{|\hat{S}(k)|}{|\hat{\Sigma}|}\right)$;

статистику Хотеллинга

$$H(k) = trace(\hat{S}(k) \cdot \hat{\Sigma}^{-1});$$

расстояние Махаланобиса

$$M(k) = trace(\hat{\Sigma}^{-1} \cdot (\hat{x} - \hat{y}(k))^T \cdot (\hat{x} - \hat{y}(k)));$$

дивергенцию Кульбака–Ляйблера

$$J(k) = \{W(k) + [H(k) - m] + M(k)\}.$$

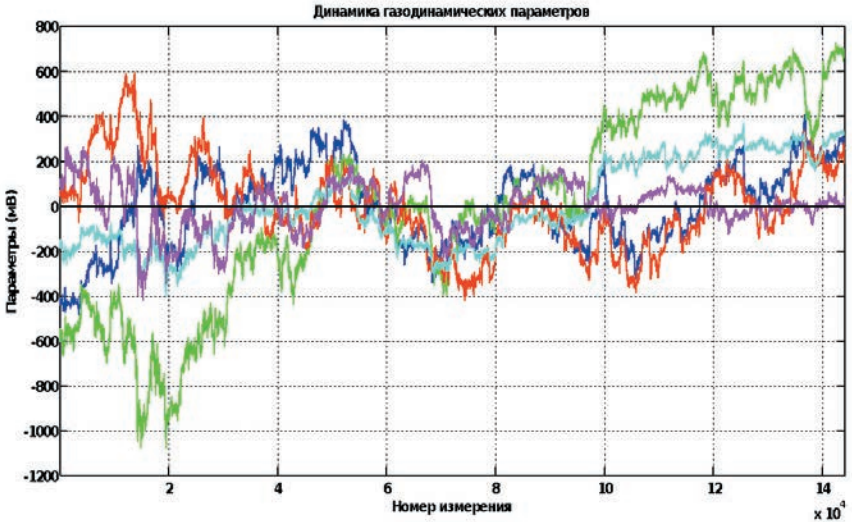


Рис. 2. ***Динамика компонент временного ряда X***

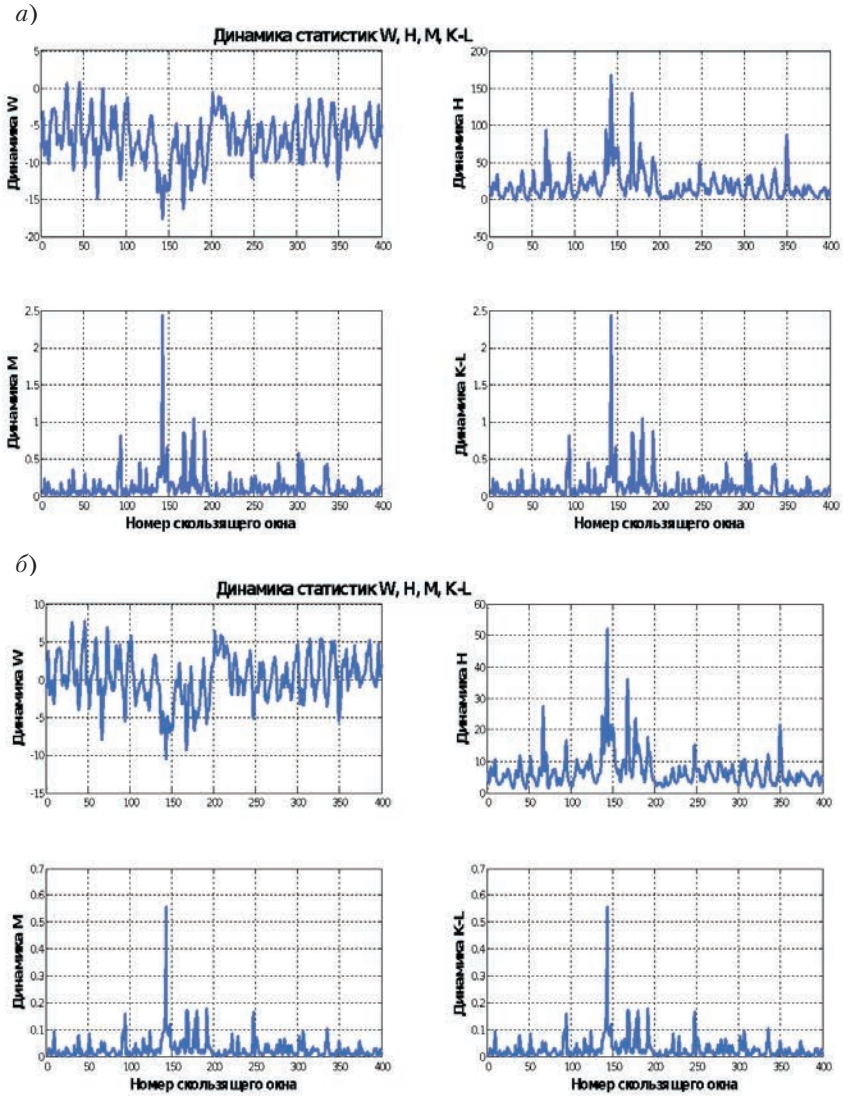


Рис. 3. ***Динамика стандартных статистик MANOVA для ряда первых конечных разностей: а – база, вся выборка; б – база – окно № 401***

Динамика этих статистик на скользящем окне шириной L = 200 отсчетов с последовательным сдвигом на d = 100 отсчетов приведена на рис. 3, *а* (на рисунке представлены первые 40000 измерений, 400 окон со сдвигом d). На рис. 3, *б* приведены те же результаты, но в качестве базы использованы оценки среднего и ковариационной матрицы для выбранного окна Y (использовано 401-е окно). Это позволяет выделить участки, родственные Y, и получать прогнозы «по аналогии» (прецедентный анализ, [3, 4, 10, 11]).

Для проверки возможностей получения краткосрочных прогнозов используем метод множественной регрессии [8,10,11]. Пусть в данных выделено скользящее окно шириной L – матрица Z размерностью $L \times m$ ($m = 5$). К ней добавляется столбец обучающих данных y – значения компоненты, выбранной для прогноза, с заданным лагом r – глубиной прогноза. По расширенной матрице данных размерностью $L \times (m+1)$ оцениваются вектор средних a и ковариационная матрица Σ, имеющие блочную структуру:

$$\hat{a} = \begin{bmatrix} \hat{a}_x \\ \hat{a}_y \end{bmatrix}; \quad \hat{\Sigma} = \begin{bmatrix} \hat{\Sigma}_{xx} & \hat{\Sigma}_{xy} \\ \hat{\Sigma}_{xy}^T & \hat{\Sigma}_{yy} \end{bmatrix}.$$

Уравнение для получения прогноза имеет вид

$$\hat{Y} = \hat{a}_y + \hat{\Sigma}_{xy}^T \hat{\Sigma}_{xx}^{-1} (X - \hat{a}_x), \qquad (1)$$

где X – результаты измерений на последнем доступном для наблюдения сегменте.

СКО прогноза выгодно рассматривать относительно локальной СКО прогнозируемой компоненты.

При сканировании всего ряда (рис. 5, L = 200, d = 100) выясняется, что СКО прогноза с увеличением r монотонно возрастает, а смещение сначала убывает, а начиная с r = 8 снова начинает возрастать. Можно констатировать, что при данном подходе *горизонт прогноза* [10] ограничен примерно семью шагами. В то же время стандартные процедуры локального полиномиального прогнозирования [8] обладают такими свойствами только при прогнозе на один-два шага.

Главный недостаток рассмотренных методов для анализа многомерных хаотических временных рядов состоит в том, что они требуют оценивания характеристик ряда на достаточно представительных окнах, что снижает возможности выявления тонких структур, проявляющихся на более коротких участках.

НОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

В конце XX в. в США, Великобритании и СССР независимо друг от друга получили распространение идеи анализа, основанные на сингулярных разложениях матрицы данных, восходящие к работе [15]. В настоящее время их рассматривают как один из подходов в составе концепции эволюционного программирования [4, 5, 6, 14, 16, 23].

Пусть исходная матрица X имеет ранг $p \le m$. Задача состоит в том, чтобы аппроксимировать ее матрицей меньшего ранга $k < p$. Решается следующая экстремальная задача: для данной матрицы $X = [x_{ij}]$ размерностью $<n \times m>$

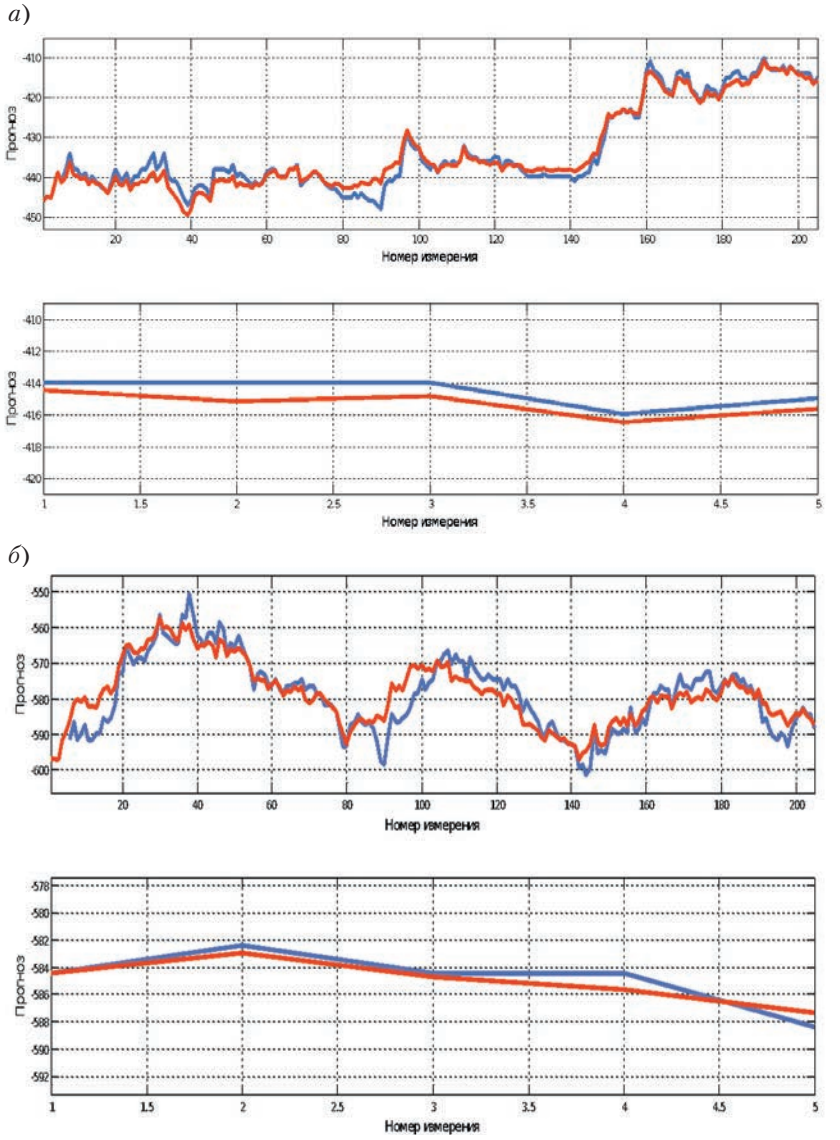


Рис. 4. ***Прогноз на глубину r=5 шагов, L=200: а – компонента 1; б – компонента 2***

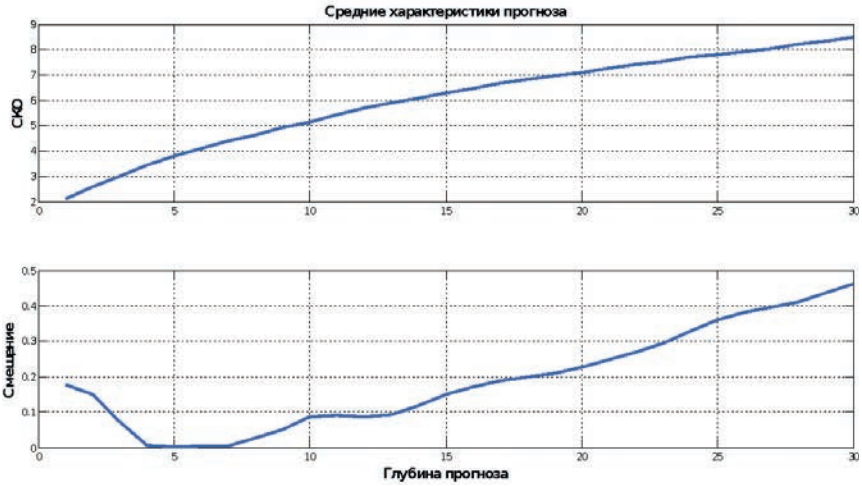


Рис. 5. ***Ошибки в зависимости от глубины прогноза r (усреднение по длине ряда и по компонентам, L = 200, d =100)***

найти матрицу Y той же размерности из условия

$$\sum_{i,j} (x_{ij} - y_{ij})^2 \to \min \qquad (2)$$

при ограничении rank $(Y) = k < \min(n, p)$. С точки зрения анализа данных это означает, что мы пытаемся объяснить имеющуюся структуру m-мерных данных меньшим числом k обобщенных признаков, $k < p < m$.

Произвольную вещественную матрицу X размерностью $<n \times m>$, $n > m$ можно представить в виде сингулярного разложения (LR-разложения, SVD):

$$X = L * S * R^T, \qquad (3)$$

где S = diag (s_1, .., s_n) – диагональная матрица; ее элементы $s_1 \geq s_2 \geq ... \geq s_n \geq 0$ называются сингулярными числами матрицы X; L – матрица размерностью $<n \times n>$; ее столбцы L_1,.., L_n – ортогональные векторы единичной длины, их называют левыми сингулярными векторами X; $L^*LT = LT^*L = E$.

R – матрица размерностью $<m \times m>$; ее столбцы R_1,.., R_m – ортогональные векторы единичной длины, их называют правыми сингулярными векторами X: $R^*R'=R'^*R=E$.

Ортогональность здесь понимается в евклидовом смысле, для матриц данных они будут коррелированы.

Если ранг матрицы X rank (X) = $p < m$, то среди сингулярных чисел только p будут отличными от нуля.

Разложение (3) можно переписать в виде суммы элементарных матриц единичного ранга:

$$X = \sum_{i=1}^{p} s_i L_i R_i^T = s_1 L_1 R_1^T + ... + s_p L_p R_p^T . \quad (4)$$

Теорема (Эккарт – Янг [4, 15]).

Решением экстремальной задачи (1) является сумма первых k слагаемых в (3):

$$X \cong Y = \sum_{i=1}^{k} s_i L_i R_i^T = s_1 L_1 R_1^T + ... + s_k L_k R_k^T .$$

В частности, при выборе $k=1$ наилучшее приближение дают первое (максимальное) сингулярное число и соответствующие ему сингулярные векторы:

$$X \cong Y = s_1 L_1 R_1^{'} .$$

Если X – это матрица данных, то она здесь превращается в сумму небольшого числа «полотнищ» той же размерности, но очень простой структуры: каждое из «полотнищ» представляет собой матрицу единичного ранга.

Сингулярное разложение матриц устойчиво к малым возмущениям матриц, т. е. является хорошо обусловленной процедурой. Такие свойства не характерны для спектрального разложения, которое формирует основу для многомерного статистического анализа.

Имеется пять основных линий развития данного подхода.

При решении задач распознавания, классификации и кластеризации используются проекции векторов на пространство, порожденное несколькими сингулярными компонентами (3), что порождает специфическую псевдометрику [4, 9, 23].

Аналогично решаются задачи ситуационного анализа: наблюдаемая ситуация x_0 ассоциируется с ближайшей в псевдометрике из штатных ситуаций x_1, .., x_k [18–20, 23].

При решении задач интерполяции случайных полей значение $f(x_0)$ оценивается как результат линейной интерполяции по k ближайшим точкам x_1, .., x_k:

$$f = c_1 f(x_1) + ... + c_k f(x_k) ,$$

где

$$c_j = 1 \Big/ (1 + d_j \sum_{i \neq j}^{k} \frac{1}{d_i}) .$$

Специфика подхода состоит в том, что в качестве меры близости d_j от x_0 до x_j опять используется метрика в пространстве проекций.

Если отрезок m-мерного ряда представлен в виде матрицы $<n \times m>$, то можно аппроксимировать ее суммой элементарных матриц единичного ранга и анализировать по отдельности ряды – слагаемые упрощенной структуры. Это позволяет значительно уменьшить размерность задачи.

При анализе одномерных рядов рассматривается группа методов, основанная на вложении временного ряда в многомерное пространство с последующим сингулярным разложением полученной ганкелевой матрицы. Кульминацией этих идей стал метод *анализа сингулярного спектра* (ACC, Singular Spectrum Analysis, SSA, в отечественной литературе также известный под названием «Гусеница») [5, 6, 14, 16], который позволяет решать задачи выделения компонент временного ряда различной структуры и решать задачи описания их структуры, прогнозирования, оценки параметров, обнаружения различных типов разладки.

На основе этих подходов строятся новые алгоритмы идентификации локальной структуры многомерных хаотических временных рядов.

Построим для матрицы данных X размерностью $<n \times m>$, $n>m$ сингулярное разложение (2) и проанализируем дисперсионный критерий

$$D(k) = \sum_{j=1}^{k} s_j \Big/ \sum_{j=1}^{m} s_j .$$

Для рассматриваемого примера при k = 3 D = 0,98, так что практически без потери информации в разложении (3) можно ограничиться тремя слагаемыми (проекциями). Сформируем эти слагаемые:

$$X(i) = L_i s_i R_i^T, \; i = 1, .., k.$$

Каждая проекция представляет собой матрицу $<n \times m>$ единичного ранга, поэтому из каждой $X(i)$ требуется извлечь только первый столбец $x_1(i)$ и набор коэффициентов

$$C_j(i) = \sum_{j=1}^{m} x_j(i) \Big/ \sum_{j=1}^{m} x_j(1) \; , j = 1, .., m_1,$$

который понадобится для возвращения к исходным переменным.

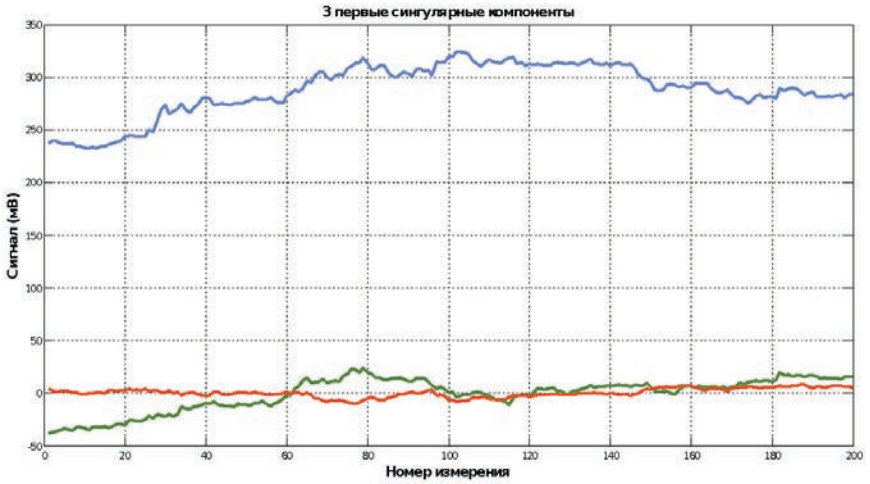


Рис. 6. ***Три первые сингулярные компоненты ряда X***

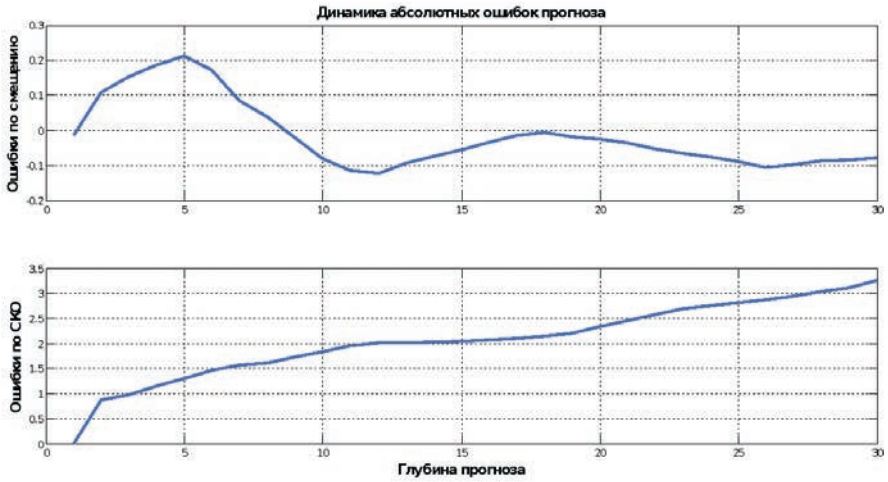


Рис. 7. ***Ошибки в зависимости от глубины прогноза r (усреднение по длине ряда и по компонентам, L = 200, d = 100)***

Теперь сформируем матрицу проекций $Z = [x_1(1),.., x_1(k)]$ (рис. 6) и построим для ее k компонент прогнозы различной глубины r, $r = 1,2,.., R$, используя метод множественной регрессии (1). Возврат к исходным переменным выполняется с помощью сохраненных коэффициентов пересчета (рис. 8).

Преимущество данного подхода – в том, что для получения корректной оценки ковариационных матриц в (1) требуется окно достаточно большой протяженности L. При $k = 5$ требуется порядка 200 измерений, а при $k = 3$ достаточно примерно 100 измерений. При большой начальной размерности m выигрыш может оказаться чрезвычайно существенным.

На рис. 7 приведены ошибки в зависимости от глубины прогноза r, усредненные по длине ряда и по компонентам, $L = 200$, $d = 100$ (сравним с рис. 5).

Анализ большого числа прогнозов по отдельным окнам и усреднений по всему исходному ряду X показывает, что снижение размерности ($k = 3$) позволяет примерно в 2 раза уменьшить ширину скользящего окна и примерно в 2,2 раза увеличить горизонт прогноза. Прогноз на 10 шагов вперед.

ВЫВОДЫ

Класс хаотических многомерных временных рядов чрезвычайно разнообразен, поэтому предложенные в данной работе алгоритмы нужно рассматривать только как возможный полезный инструмент. Во многих случаях они дают возможность значительно снизить размерность ряда и, благодаря этому, либо увеличить горизонт прогноза, либо анализировать более мелкие детали данных. Перспектива видится в разнообразных вариантах комбинирования сингулярного анализа для снижения размерности и классических методов многомерного анализа для лучшего понимания особенностей данных.

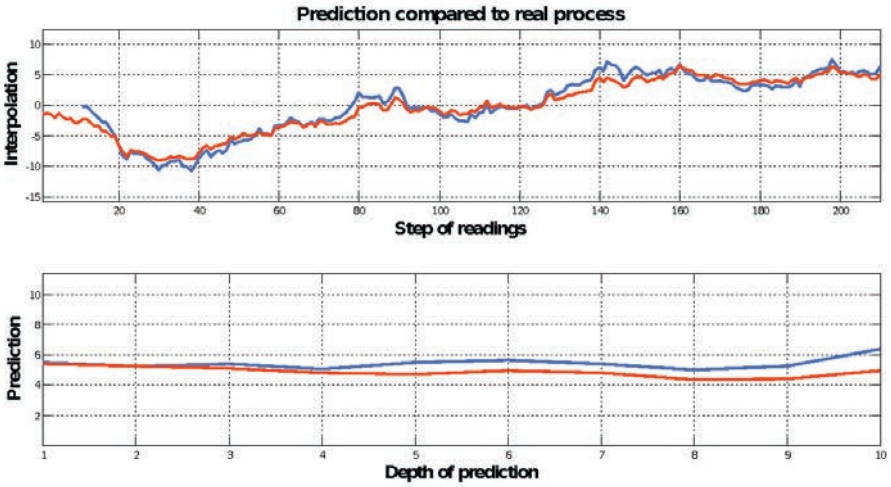


Рис. 8. ***Пример возврата к исходным переменным с помощью коэффициентов пересчета (5)***

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антоновский В.Я., Бухштабер В.М., Векслер Л.С.* Приложение многомерного статистического анализа для обнаружения структурных изменений во временных рядах экологического мониторинга//Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб: Гидрометеоиздат. – 1993. – Вып. 15. – С. 193–213.
2. *Безручко Б.П., Смирнов Д.А.* Математическое моделирование и хаотические временные ряды. – Саратов: ГосУНЦ «Колледж» – 2005. – 320 с.
3. *Большаков А.А., Каримов Р.Н.* Методы обработки многомерных данных и временных рядов. – М.: Горячая линия–Телеком. – 2015. – 522 с.
4. *Бриллинджер Д.* Временные ряды. Обработка данных и теория. – М.: Мир, 1980.
5. *Голяндина Н.Э.* Метод «Гусеница» – SSA: прогноз временных рядов. – СПб: Изд. СПГУ, 2004.
6. *Данилов Д.Л., Жиглявский А.А.* Главные компоненты временных рядов: метод «Гусеница». – СПб.: Изд.СПГУ, 1997.
7. *Колесник В.А., Макшанов А.В., Солонько В.А.* Обнаружение и классификация сбоев в работе СТС по результатам многоканальных измерений различной физической природы//Морской вестник. – 2011. – № 2 (38). – С. 89–93.
8. *Лукашин Ю.П.* Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования. – М.: Статистика. – 2003. – 415 с.
9. *Макшанов А.В., Попович Т.В.* Разработка алгоритмов слияния многоканальных данных в системах мониторинга судовых объектов//Морской вестник. – 2016. – № 1 (57). – С. 91–95.
10. *Макшанов А.В., Журавлев А.Е.* Технологии интеллектуального анализа данных (учебно-методическое пособие). – СПб.: Лань, 2018. – 191 с.
11. *Макшанов А.В., Мусаев А.А.* Интеллектуальный анализ данных. – СПб.: Изд. СПбГТИ (ТУ), 2019. – 188 с.
12. *Попов Н.Н.* Теория и методы диагностирования газотурбинных двигателей на ресурсосберегающих режимах функционирования. – СПб: Машиностроение, 2001. – 127 с.
13. *Хеннан Э.* Многомерные временные ряды. – М.: Мир, 1974.
14. *Buchstaber V.M.* Time Series Analysis and Grassmannians//Amer. Math. Soc. Transl. – 1994. – Vol.162. – № 2. – P.1–17.
15. *Eckart C., Young G.* The approximation of one matrix by another of lower rank //Psychometrika. – 1936. – № 1. – P. 211–218.
16. Spectrum Analysis. New Tool in Time Series Analysis. – N.Y.: Plenum Press, 1996.
17. *Farmer J.D., Sidorowich J.* Prediction chaotic time series//Phys. Rev. Lett. – 1987. – Vol. 59. – № 8. – P. 845–848.
18. *Popovich V.V., Voronin M.S.* Data harmonization, integration and fusion: three sources and three major components of geoinformation technologies//International Workshop on Information Fusion and Geographic Information System. – St. Petersburg, Russia, 2005, p. 41–47.
19. *Popovich V., Hovanov N., Hovanov K., Schrenk M., ProkaevA., Smirnova A.* Situation Assessment in Everyday Life. – Proceedings of CORP2008. – Ed. by Manfred Schrenk, 2008, May 19–22, Vienna.
20. *Popovich V., Prokaev A., Schrenk M., Galiano F., Voronin M., Smirnova A.* Monitoring of Terrorist's Treats: a Theoretical Approach. – Proceedings of CORP2008. – Ed. by Manfred Schrenk, 2008, May 19–22, Vienna.
21. *Scholcopf B., Smola A.J., Muller K.-R.* Nonlinear component analysis as a kernel eigenvalue problem. – Neural computation, 1999, p. 1299–1319.
22. *Takens F.* Detecting strange attractors in turbulence//Lecture Notes in Mathematics. –1983– Vol. 898. – P. 369–371.
23. *Tarakanov A.O., Skormin V.A., Sokolova S.P.* Immunocomputing: Principles and Applications. – New York: Springer, 2003.
24. *Zhu Y., Song E., Zhou J., You Z.* Optimal dimensionality reduction of sensor data in multisensor estimation fusion//IEEE Transactions on Signal Processing. – 2005. – № 53 (5) – P.1631–1639. ■

К 90-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В.В. ВОЙТЕЦКОГО

Ю.А. Губанов, *д-р техн. наук, проф., советник зам. ген. директора по развитию, экспорту и сервису АО «Концерн «НПО «Аврора», контакт. тел. (812) 702 5978*

Приближается важная дата для всех, кто знал Витольда Витальевича Войтецкого, крупного специалиста в области автоматизации кораблей и судов различных классов, кто работал с ним, общался и дружил – 90 лет со дня его рождения. Много лет его жизнь была связана с именем и историей АО «Концерн «НПО «Аврора», которое он любил и для которого так много успел сделать.

О Витольде Витальевиче в разные периоды много писали, и о нем лично, и в связи с НПО «Аврора» [1–3]. Столь внушительная дата – повод вспомнить все, что касается личности и дела Витольда Витальевича, в более широком формате, чем обычное биографическое описание. Но сухие строчки биографии тоже важны.

БИОГРАФИЯ

Витольд Витальевич Войтецкий родился в г. Сестрорецк (Ленинградской обл.). В 1955 г. окончил Ленинградский кораблестроительный институт. Кандидат технических наук (1979 г.). Доктор технических наук (1999 г.). Профессор (2000 г.). Академик Академии навигации и управления движением, Санкт-Петербургской инженерной академии. Организатор исследований, проектирования и производства локальных и комплексных систем управления судовыми техническими средствами, а также АСУ кораблем в целом.

Работал в НИИ ВМФ (1955 г.), ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова (1959 г.), ЦКБ-57 (1964 г.), ЦКБ «Луч» (1966 г.). С 1971 г. – в НПО «Аврора».

Его первые научные исследования (1959–1964 гг.) посвящены проблемам управления и регулирования судовых пароэнергетических установок (ПЭУ) и их составляющих: паровых котлов, турбин, конденсационных установок. В качестве начальника научно-исследовательской лаборатории (1960 г.) руководил работами коллектива по созданию и отработке конструкций новых приборов и регуляторов. Был руководителем и исполнителем научно-исследовательских работ по изучению динамических свойств объектов ПЭУ, участвовал в создании и автоматизации атомного ледокола «Ленин» как в период первоначального строительства, так и его модернизации. При реорганизации и перепрофилировании ЦКБ-57 на выполнение работ по автоматизации судов и кораблей В. В. Войтецкий в 1964 г. был назначен на должность заместителя начальника ЦКБ-57 (после переименования в 1966 г. – ЦКБ «Луч») по научной работе, затем главным инженером ЦКБ. После объединения ЦКБ «Луч» с НПО «Аврора» – главный инженер (1971 г.), генеральный директор НПО (1983 г.).

В. В. Войтецкий. 23.12.1931– 29.05.2010 гг.

В короткий период после назначения В. В. Войтецкий сформировал свою команду, в которую вошли тогда В. В. Астров, В. А. Дымент, М. М. Никитичев, В. М. Корчанов, А. И. Гнатко, Т. И. Мадера, С.А.Обуховский, несколько позже Б. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, В. В. Николаев, К. Ю. Шилов, Л. В. Шерстнева, В. Д. Вальков, Ю. А. Сухачев, В. А. Хорошев. Эта команда работала с ним бок о бок в течение долгих лет.

Пик развития НПО «Аврора» как научно-производственного предприятия пришелся на конец 80-х гг. В состав НПО входили опытный завод «Аврора» (директор А. П. Ткаченко), завод «Рейд» (директор В. И. Мартынов), завод «Нептун» (директор Е. Е. Носов), завод «Варяг» (директор Е. Н. Леонов), опытное производство во главе с И. А. Ухалкиным. В этот период численность НПО достигла 14 тыс. человек. К выполнению плана поставок привлекались киевский завод «Электроприбор» и завод «Фиолент» в Симферополе.

В. В. Войтецкий работал над созданием и внедрением первых образцов вычислительной техники в корабельных АСУ, созданием и испытанием микропроцессорной техники. Преподавал в Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете (до 1996 г.). С 1996 г. – профессор кафедры автоматики и вычислительной техники факультета технической кибернетики Санкт-Петербургского государственного технического университета. Автор ряда учебно-методических пособий и научных статей в отраслевых журналах и сборниках.

В. В. Войтецкому были присуждены Государственная 1974 г.) и Ленинская премии (1984 г.). Его многогранная деятельность отмечена правительственными наградами: ему были вручены орден «Трудового Красного Знамени» (1971 г.), «Орден Почета» (1997 г.), орден «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2007 г.), многочисленные медали.

ЗА СТРОЧКАМИ БИОГРАФИИ

Эти строчки биографии не дают полного представления о том, как жил Витольд Витальевич, как формировался его характер, как относился к жизни и работе.

Детство В. В. Войтецкого выпало на военное время. Поскольку отец его был кадровым военным и в разное время возглавлял крупные подразделения погранвойск и СМЕРШ, мальчик оказался в детском доме, где жил и получал школьное образование. Позже Витольд Витальевич вспоминал, что это был запредельно тяжелый период жизни, но именно он закалил характер, научил правильно строить отношения с людьми, ценить то, что дает реальная жизнь, определил отношение к семье как одной из главных ценностей.

Витольд Витальевич рассказывал, что в юности он хотел посвятить свою жизнь службе в ВМФ. В связи с этим после окончания ЛКИ добился распределения в НИИ ВМФ, где прослужил четыре года. Однако человеку без специального военного образования и тогда, и сейчас трудно сделать карьеру во флоте. Осознав это и в связи со структурными изменениями в организациях ВМФ и Судпрома Витольд Витальевич перешел в ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, где занялся задачами управления и регулирования судовых пароэнергетических установок.

Еще одно качество Витольда Витальевича – это умение заводить друзей

и дружить с ними многие годы, не прерывая отношений, несмотря на изменчивость жизненных обстоятельств.

Его друзья – это и команда коллег – руководителей предприятий Судпрома, и старая команда спортсменов*, и коллеги, с которыми он начинал трудовой путь, и относительно молодые руководители, с которыми продолжал свое дело ...Со всеми этими людьми он умел вести практически круглосуточное формальное и неформальное заинтересованное общение: на территории объединения, в командировках, на официальных и неофициальных мероприятиях, при проведении спортивных соревнований, на заседаниях Диссертационного совета или Морского Собрания, в конце концов, и на юбилеях и пр. Он был гостеприимен и открыт для общения. Его личные качества во многом определили стиль НПО «Аврора» в исторический период, который мы называем «эпохой Войтецкого».

Витольд Витальевич ушел из жизни в 2010 г., но в деятельности НПО «Аврора» многое по-прежнему связано с его именем. В 2011 г. с целью увековечивания памяти В. В. Войтецкого на центральной площадке головной компании концерна «НПО «Аврора» установлен его бюст, учреждена медаль имени В. В. Войтецкого, которая вручается ежегодно в декабре на заседании Научно-технического совета концерна.

По инициативе и с активным участием В. В. Войтецкого в 2009 г. была организована и успешно функционирует базовая кафедра Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (СПбГПУ) «Корабельные информационно-управляющие системы», профессором которой он был. В память Витольда Витальевича в ноябре 2010 г. по инициативе генерального директора концерна «НПО «Аврора» К. Ю. Шилова учреждена стипендия имени профессора В. В. Войтецкого для студентов, обучающихся на базовой кафедре, которая назначается ежегодно лучшим студентам.

ЭПОХА ВОЙТЕЦКОГО

Эпоха Войтецкого охватывает 1983–2008 гг. – тяжелый период, когда развитие НПО «Аврора» происходило в условиях глобальных изменений, произошедших в нашей стране на общественном и государственном уровне.

Летом 1983 г. не стало генерального директора О. П. Демченко. С его уходом закончилась эпоха создания и становления НПО «Аврора». Генеральным директором был назначен В. В. Войтецкий, компетентность и лидирующие позиции которого не вызывали сомнения ни в коллективе НПО, ни в Минсудпроме СССР. Его назначение не вызвало необходимости проведения коренных изменений в руководящем составе НПО – разворачивалось строительство кораблей третьего поколения, в котором объединению отводилась самая активная роль, структура и сотрудники НПО были нацелены непосредственно на решение этих задач.

Дружеская встреча руководителей отрасли на территории НПО «Аврора» Слева на право: В.В. Войтецкий, И.С. Белоусов, В.Л. Александров

Наиболее активно велось строительство АПЛ новейших проектов бюро «Малахит» (г. Ленинград), «Рубин» (г. Ленинград) и «Лазурит» (г. Горький), которое велось на судостроительных предприятиях Северодвинска, Горького, Ленинграда, Комсомольска-на-Амуре. Каждый проект имел свои уникальные особенности, что приводило к необходимости создания широкой линейки КСУ ТС типа «Сталь», а также других типов КСУ ТС (например, «7631», «5216»). В результате коллективу НПО «Аврора» пришлось решать масштабные работы регулировочно-сдаточного цикла. Широкая география проведения работ, обусловленная дислокацией заводов-строителей кораблей, дополнялась еще и размещением серийных заводов-изготовителей систем управления техническими средствами кораблей. Ленинград, Куйбышев, Ставрополь, Киев, Симферополь, Владивосток – вот неполный список городов, где в составах сдаточных команд работали десятки специалистов и комиссий, контролирующих приемку, обеспечивающих научно-техническое сопровождение работ, создавались испытательные стенды, проводились предварительные (заводские) и межведомственные испытания.

Аналогичная ситуация сложилась и в связи со строительством надводных кораблей ВМФ, а также судов ледокольного и морского гражданского флота. По этой тематике, помимо перечисленных выше городов, сдаточные команды НПО работали также на заводах-строителях в Зеленодольске, Николаеве, Феодосии, Керчи и др.

Началась поставка на тяжелые авианесущие ракетные крейсеры систем типа «Фиорд», разработанных в конце 1970-х гг. Так, КСУ ТС «Фиорд-44» прошли успешное внедрение на атомных крейсерах «Фрунзе» («Адмирал Лазарев»), 1984 г., «Калинин» («Адмирал Нахимов»), 1988 г., «Пётр Великий», 1996 г. Система «Фиорд-41» в 1988 г. поставлена еще на один круп-

23 декабря, в День рождения В. В. Войтецкого, всегда много гостей, которые возлагают цветы к памятнику, установленному на территории центральной площадки головной компании концерна «НПО «Аврора»

*В.В.Войтецкий был спортсменом, мастером спорта по баскетболу, поэтому в жизни и в работе часто прибегал к проверенному стилю, свойственному командным видам спорта. Интересно, что до конца своих дней был участником международных турниров по баскетболу в составе сборной России «60++» и «70+».

Системы управления ГЭУ АПЛ 3-го поколения

ный атомный объект ВМФ – специальный корабль ССВ-33 «Урал».

В этот же период были поставлены КСУ ТС «Бухта-60», «Гейзер-45», «Флора-32», «Флора-39», «Флора-41» на малые корабли ВМФ соответствующих проектов.

На атомных ледоколах «Россия», «Советский Союз», «Ямал» были успешно внедрены КСУ ТС типа «Север» (последний из ледоколов этого проекта был сдан в эксплуатацию в 1992 г.).

До 1990 г. включительно продолжались работы по внедрению систем автоматизации на тяжелых авианесущих крейсерах пр. 1143.

В рамках создания ПЛ 3-го поколения продолжались работы, направленные на реализацию СУ ТС на основе средств вычислительной техники (СВТ). В 1985 г. была завершена передача заказчику СУ ЭЭС «Луга-2» и СУ ГЭУ «Андромеда-2» (из состава КСУ ТС «Ковар-2»), реализованные полностью на базе центрального программируемого логического устройства (ПЛУ), периферии ПЛУ и аппаратуры телевизионной индикации данных (ТВИД) с программной реализацией алгоритмов на основе языка ФОДУС (формализованное описание дискретных управляющих систем). Эти изделия, функционируя по прямому назначению на реальном объекте ядерной энергетики, показали надежность в течение всего срока эксплуатации с неоднократным продлением ресурса.

В целом внедрение ПЛУ оказалось вполне успешным опытом программной реализации алгоритмов управления СУ, использования магистральной шины общего доступа для «уплотненной» передачи данных при межприборном обмене информацией СУ ТС, использования трехканального мажоритарного резервирования, применения селективных средств отображения информации, предоставляемой оператору на лицевых панелях пульта управления. Вдохновленные этим опытом специалисты НПО уже вначале 1990-х гг. создали на основе ПЛУ новый комплект аппаратуры программно-логического контроллера (ПЛК), который использовался при создании новых модификаций СУ ГЭУ типа «Ураган» из состава КСУ ТС «Сталь», поставляемых на АПЛ класса «Барс» (пр. 971) до 1995 г. включительно.

Быстрое развитие СВТ привело к ограничению использования ПЛУ и ПЛК в пользу новых типов покупных СВТ. Первым опытом использования таких СВТ было внедрение ЦВМ «Карат» (НПО «Квант», Киев) в судовой информационно-вычислительной системе «Бриз-81», установленной на атомном контейнеровозе-лихтеровозе ледового плавания пр. 10081 «Севморпуть». Этот же тип ЦВМ использовался в системах управления грузовыми операциями танкера (шифр «Ильмень-Б»), входившей в КСУ ТС «Залив-М».

В 1980-е гг. по заданию НПО «Аврора» в рамках ОКР «Ладья» в НПО «Агат» (Москва) были созданы ЭВМ «Луч» и «Лада», нашедшие применение при создании информационной системы «Ирис-2» (из состава КСУ ТС «Ковар-2»).

В 1980-х гг. начались работы по созданию АПЛ 4-го поколения. НПО «Аврора» получило техническое задание (ТЗ) на разработку нового поколения КСУ ТС АПЛ (шифр «Булат»). Базовый проект, привязанный только к опытному образцу и предназначенный для отработки технических решений КСУ ТС 4-го поколения (без перспективы поставки на корабль), получил шифр «Булат-М». В качестве ведущего бюро по базовому проекту корабля (шифр «Меркурий») выступало ЦКБ МТ «Рубин». Позже, когда в качестве базового был установлен конкретный проект АПЛ «Ясень», ведущим бюро стало СПМБМ «Малахит».

С учетом накопленного опыта объединением был избран курс на создание КСУ ТС «Булат-М» на основе последних достижений в области СВТ. Большие надежды связывались с использованием микропроцессоров и других элементов с высокой степенью интеграции. На начальной стадии ОКР «Булат-М» с использованием имеющегося в НПО задела был разработан комплект модулей на основе отечественных микропроцессоров серии 1806. Применение этого комплекта оказалось невозможным из-за резкого изменения экономической и политической обстановки в стране. Был утрачен производитель серии 1806 – НПО «Импульс» (Северодонецк), неожиданно оказавшийся

СУ ТС на испытательном стенде концерна

в другом государстве. Отсутствие отечественной элементной базы, необходимой для проектирования передовой морской техники для ВМФ, стало серьезным препятствием для реализации ТЗ, полученных НПО «Аврора» в рамках ОКР «Булат».

Другая ситуация складывалась в области гражданской морской техники (ГМТ). В 1987 г. был разработан технический проект базовой КСУ ТС для морских судов «Океан», в которой использовалась как отечественная, так и зарубежная микропроцессорная элементная база. На ее основе в 1990 г. были созданы КСУ ТС типа «Селма-МАС» для сухогруза пр.15640 и для танкера пр.15967. В целях совершенствования аппаратуры КСУ ТС для морских судов были выполнены НИОКР «Сфера», «Радуга», «АСУ судна»; для рыбопромысловых судов – ОКР «Черчес».

Результаты выполненных НИОКР уже к 1994 г. позволили создать базовый комплект микропроцессорных средств (КМС) для ГМТ – «Авролог», на базе которого в 1995 г. осуществлена первая поставка системы «Авролог ТС 17310» для сухогрузного судна типа «река-море», а в 1997 г. – система «Авролог-ПС500» для патрульного судна Демократической Республики Вьетнам.

Для программируемых систем в этот период впервые было начато использование покупных операционных систем (ОС) реального времени. Наиболее приемлемые результаты были получены при эксплуатации ОС QNX. Эта ОС, постоянно развиваясь, стала основой при создании СУ ТС. Модификации ее до настоящего времени широко применяются при создании новых СУ ТС. Большая работа была проведена по совершенствованию базовых несущих конструкций (БНК), используемых в КСУ ТС для ГМТ и военной техники. Были усовершенствованы системы кондуктивного отвода тепла базовых конструктивом 3-го поколения: «Набор-71» для кораблей ВМФ и «Набор-Т» для ГМТ. Созданы новые конструктивы («Набор-96»), позволяющие интегрировать конструкции типа «Евромеханика» для размещения импортных покупных компонентов.

Опыт внедрения СВТ, полученный в период середины 80–90-х гг., позволил предметно перейти к созданию нового поколения СУ ТС, развитию систем комплексной автоматизации, разработке автоматизированных систем боевого управления кораблем (АСБУ) и интегрированных СУ (ИСУ).

Работа в НПО над созданием АСБУ и традиционных КСУ ТС явилась существенным условием для постановки наиболее перспективной задачи – разработки интегрированных систем уп-

СУМ «Пирит-М» (слева) и АИУС «Лама-ЭКМ» (справа)

Изделия гражданской морской техники на стенде НПО «Аврора»

Системы управления на мостике электрохода

равления. Объединение этих комплексов в единую систему позволяет более эффективно выполнять ряд важнейших функций управления кораблем, его оружием, оборудованием. Это, в частности, касается оценки тактической обстановки, подготовки вариантов решений, реализации утвержденных решений. Обеспечивается высокое качество управления повседневной деятельностью экипажа при стоянке корабля в базе в период проведения межпоходовых мероприятий, направленных на поддержание боеготовности корабля.

Большое внимание уделялось совершенствованию КСУ ТС и ИСУ за счет их максимальной интеллектуализации на всех уровнях иерархии. Одним из путей в этом направлении стала организация в составе комплексов центральных координирующих систем управления (ЦКСУ), включая, в том числе, системы информационной поддержки операторов при борьбе за живучесть.

Применение интеграционных подходов позволило приступить к созданию новых поколений систем управления для всех классов кораблей и судов. Например, до 90-х гг. уровень автоматизации дизель-электрических подводных лодок (ДЭПЛ) существенно отставал от АПЛ как по уровню автоматизации ТС, так и по наличию боевых управляющих систем (БИУС). В конце 90-х гг. перед НПО была поставлена задача устранения этого отставания с выходом на уровень создания интегрированной системы управления (ИСУ), объединяющей на основе цифровых интерфейсов КСУ ТС и БИУС.

До 1998 г. коллективом была создана автоматизированная информационно-управляющая система (АИУС) «Лама-ЭКМ», комплексно решающая все задачи БИУС, включая применение ракет, а также управление торпедными аппаратами. В 1999 г. опытно-поставочный образец этой системы был отгружен на строящуюся ДЭПЛ пр. 877ЭКМ, которая в июле 2000 г. после проведения испытаний была передана в состав ВМС Индии.

Одновременно были начаты работы по модернизации СУ ТС для ДЭПЛ, прежде всего систем управления пространственным маневрированием «Пирит-М» и ОКС «Палладий-М».

АИУС «Лама-ЭКМ» стала первым воплощением идеи автоматизированной системы боевого управления кораблем (АСБУ). Следующим шагом было создание ИСУ, объединяющей АСБУ и КСУ ТС путем организации для них единого информационного пространства на основе цифровой системы обмена данными. Такая работа была проведена в ОКР «Литий», в рамках которой

На Морском Салоне с руководством Минпромторга и Судпрома. Слева на право: Д.В. Мантуров, Д.В. Стругов, В.В. Войтецкий

коллективом всех подразделений-разработчиков СУ ТС был создан комплекс агрегатированных средств (КАС) «Литий» в рамках работ по проектированию ДЭПЛ «Лада». В его состав вошли интегрированные структуры:

- АСБУ, реализующие функции БИУС, системы автоматизированного управления торпедными аппаратами (САУ ТА) и комплекс систем управления стрельбой (КСУС),
- автоматизированное рабочее место командира (АРМ-К),
- общекорабельная система обмена данными (ОКСОД), которая на базе современных технических средств позволила организовать сетевое взаимодействие с корабельными комплексами и системами радиоэлектронного вооружения,
- интегрированная СУ ТС (объединяющая функции ЦКСУ, СУ ЭЭС, СУ ОКС и СУ ГЭУ),
- система управления движением и маневрированием,
- система централизованного питания (СЦП).

По оценкам специалистов, КАС «Литий» на момент создания не имел аналогов среди отечественных и зарубежных систем по уровню интеграции, а ДЭПЛ «Лада» после поставки на нее КАС «Литий» стала на тот момент самым высокоавтоматизированным кораблем.

Задел, созданный при разработке КАС «Литий», был использован при разработке СУ ТС надводных кораблей (НК). Первыми СУ ТС НК, построенными на средствах микропроцессорный техники с использованием принципов программной реализации алгоритмов функционирования и структурного комплексирования, стали системы комплекса СУ ТС для фрегатов пр. 11356. В составе комплекса на фрегаты были переданы автономные системы управления типа СУ ЭЭС «Ангара», СУ ГЭУ «Буря», СУ ОКС «Онега», СУД «Корракс».

Результаты работ по созданию и внедрению на кораблях СУ ЭЭС «Ангара», СУ ГЭУ «Буря», СУ ОКС «Онега» и СУД «Корракс» стали основой для создания КСУ ТС типа «Фауна».

Комплексная автоматизация атомных ледоколов и судов ледового плавания была продолжена. Так, для атомного ледокольно-транспортного лихтеровоза-контейнеровоза «Севморпуть» пр. 10081 была разработана и внедрена КСУ ТС «Север-81», как дальнейшее развитие направления на создание объединяющих СУ ТС информационных систем и систем централизованного электропитания (ИВС «Бриз-81» и СЦП «Тангенс-81»). Также была выполнена автономная поставка системы регулирования оборотов ГТЗА-ВРШ («Альмак-81»), функционирующей совместно с КСУ. В СЦП «Тангенс-81», кроме ставших уже традиционными коммутационно-защитных функций, были реализованы функции преобразования интерфейса питания с формированием защищенных фидеров.

В середине 80-х гг. было начато проектирование атомных ледоколов с ограниченной осадкой – пр. 10580 («Таймыр» и «Вайгач»), для автоматизации которых НПО «Аврора» были поставлены КСУ ТС типа «Север-80». При ее создании был сделан важный шаг в развитии селективных принципов представления информации – в ЦПУ установлены цветные дисплеи «Далматик», на которые через ЦВМ выводилась детальная информация о состоянии и параметрах ТС ледокола.

Новым этапом развития КСУ ТС атомных ледоколов стало создание изделия «Север-М1» для пр. 10521 «50 лет Победы». Оно выполнено полностью

Награждение ветеранов строительства атомного подводного флота страны

на основе программируемых средств вычислительной техники (использовались покупные СВТ и собственные – ПЛК), при проектировании автоматизированных рабочих мест (АРМ) оператора использовались селективные средства представления информации – дисплеи, мониторы с операторскими станциями, для информационного обмена использовались быстродействующие цифровые интерфейсы.

Непосредственно создание КСУ ТС типа «Булат» было начато в 1986 г. и завершено в полном объеме только в 2008 г., к моменту поставки их на головной заказ АПЛ пр. «Борей». Был создан широкий спектр базовых конструктивов, обеспечивающих длительную непрерывную работу агрегатов бесперебойного питания по прямому назначению при использовании исключительно кондуктивных методов отвода тепловой энергии от теплонагруженных элементов.

В начале 2000-х гг. объединение спроектировало и начало поставки КСУ ТС на корветы пр. 20380 (шифр «Фауна-20380»), для чего использованы все наработки, воплощенные в СУ ТС для фрегатов пр.11356, а также новые разработки в части СОД и систем бесперебойного электропитания (СБЭ).

Аналогичные КСУ ТС были созданы для малых артиллерийский кораблей пр. 21630 «Буян» и его модификаций для кораблей пр.11661. Начаты работы по автоматизации кораблей проектов 22350, 18280 и 11442М.

Продолжалась работа в области тренажеростроения. Развитие получили новые направления, связанные с реализацией учебных классов для тренировки личного состава БЧ-3 по использованию САУ ТА и ракетного оружия.

Под председательством В. В. Войтецкого активно работал научно-технический совет (НТС) объединения, где решались ключевые вопросы, связанные с системным и структурным синтезом КСУ ТС, надежностью, живучестью, безопасностью, формированием базовой аппаратно-программной платформы, выбором типов и исполнений межприборных и внутриприборных цифровых интерфейсов, операционной системы и проведением функционального программирования, помехоустойчивостью, электромагнитной совместимостью, организацией бесперебойного электропитания, моделированием и организацией испытаний СУ.

Успешное развитие НПО на завершающей стадии рассматриваемого периода было предопределено. благодаря напряженной работе его руководства и коллектива в 1980-х – 1990-х гг. Продуманная, целенаправленная и выверенная политика, проводимая все эти годы В. В. Войтецким и командой его единомышленников и соратников с опорой на весь коллектив инженеров, специалистов, ученых и рабочих НПО. Это позволило с честью выйти из всех испытаний и на начало 2008 г. существенно укрепить свое положение на рынке морской техники.

Следование этой политике позволило сохранить и укрепить компетенции, накопленные НПО за период его существования, сохранить и пополнить коллектив специалистов, начать обновление основных фондов и перевооружение производства. В «постперестроечный» период, когда в 1999 г. НПО был присвоен статус Федерального научно-производственного центра России, под его руководством были возобновлены на новом уровне работа аспирантуры, Диссертационного совета, издание периодического научно-технического сборника «Системы управления и обработки информации». Основные достижения, прорывные идеи, концепции в области совершенствования изделий морской техники, создания интегрированных систем управления публиковались в научно-технической периодике, освещались на всероссийских и международных научно-технических конференциях, отражались в монографиях.

Можно отметить, что в 2008 г. подошла к завершению эпоха В. В. Войтецкого, которая продолжалась четверть века.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Витольд Витальевич был обаятельным человеком, талантливым руководителем, харизматичным лидером. Он полностью отдавался работе, жил интересами фирмы. Всем, кто знал его и работал с ним в годы этой «эпохи», очевидно, что именно такой человек – ученый и руководитель – был необходим предприятию, чтобы преодолеть безвременье перестройки, сохранить фирму. Ему и его команде удалось преобразовать объединение в конкурентоспособное предприятие-лидер, полностью отвечающее вызовам времени. Для этого требовались воля, знания и труд.

Будучи чрезвычайно эрудированным, разносторонне развитым и остроумным человеком, Витольд Витальевич в общении «выдавал» формулировки, которые «разошлись на цитаты» и до сих пор повторяются в коллективе. Здесь нет необходимости приводить все его афоризмы, однако процитируем один. Когда при докладе о состоянии дел вырисовывалась более или менее спокойная картина планомерной и слаженной обстановки, В. В. Войтецкий говорил: «Настораживает бесконфликтность!». Успех в работе объединения достигался за счет непрерывного контроля, диспетчеризации, проверки и перепроверки результатов и благодаря высокой компетентности всех сотрудников фирмы.

Часто говорят, что человек жив, пока о нём помнят и думают другие люди.

Память о Витольде Витальевиче Войтецком жива. Дело его продолжается. Его мысли востребованы.

И пока НПО «Аврора» по прежнему развивается и успешно решает поставленные задачи, имя Витольда Витальевича не будет забыто.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шилов К. Ю., Губанов Ю. А.* 50 лет «НПО «Аврора» (1970–2020 гг.): История, современность, направления развития. – СПб.: АО «Концерн «НПО «Аврора», 2020. – 264 с.
2. *Войтецкий В. В.* История становления и развития НПО «Аврора» (1945–2002). – СПб.: ФГУП «НПО «Аврора», 2002. – 176 с.
3. *Войтецкий В. В., Панков Е. В.* Федеральный научно-производственный центр «НПО «Аврора» на рубеже третьего тысячелетия. – СПб.: Наука, 2003. – 71 с.

ПАМЯТИ Ю.И. НЕЧАЕВА

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
контакт. тел. (812) 570 4412, 553 5672

3 октября 2021 г. скончался Юрий Иванович Нечаев, профессор кафедры Вычислительной техники и информационных технологий СПбГМТУ, доктор технических наук, ученый с мировым именем.

Родился Ю. И. Нечаев 25 января 1933 г. в г. Верея Московской области. В 1958 г. окончил Московский технический институт рыбной промышленности по специальности «Судостроение и судоремонт», после перебазирования института в Калининград поступил в аспирантуру. Занимал должности старшего преподавателя, а после защиты кандидатской диссертации – доцента, затем в 1971–1985 гг. доцента Севастопольского приборостроительного института и после защиты докторской диссертации – профессора, заведующего кафедрой теории корабля и гидромеханики, проректора по научной работе. На этом этапе научные интересы Юрия Ивановича были сосредоточены на решении разнообразных задач динамики корабля и корабельных движителей; разработанные им методы использовались на практике не только в нашей стране, но и в США, Японии, в ряде стран Европы и Азии.

Последующая работа Ю. И. Нечаева в качестве главного, а затем генерального конструктора авиационно-космических систем и руководителя Специального бюро информационно-управляющих систем (СКБ «Прибой», 1985–1995) привела к созданию первых систем посадки летательных аппаратов корабельного базирования, систем посадки космического комплекса «Буран», к разработке эффективных методов и алгоритмов оценки поведения сложных динамических объектов в экстремальных ситуациях.

Став в 1995 г. профессором СПбГМТУ и возглавив кафедру Теоретической механики, Ю. И. Нечаев продолжал работать над проблемой создания корабельных интеллектуальных систем реального времени, руководил созданием систем обеспечения безопасности мореплавания судов и плавучих технических средств освоения океана. Научные интересы в области интеллектуальных технологий (методы нечеткой логики, нейросетевые модели, генетические алгоритмы и т. п.) закономерно привели Ю. И. Нечаева в 2000 г. к переходу на кафедру Вычислительной техники и информационных технологий, профессором ко-

торой он работал до последних дней своей жизни.

Ю. И. Нечаев – автор более 650 научных работ, в том числе 20 монографий, учебников, справочников, более 100 изобретений, подтвержденных патентами и авторскими свидетельствами, руководитель секции «Искусственный интеллект в морских технологиях» НТО судостроителей, руководитель секции НТО Санкт-Петербургского отделения Российской Ассоциации «Нейроинформатика» член ряда специализированных советов по защитам диссертаций. Юрий Иванович тесно сотрудничал с журналами «Судостроение» и «Морской вестник».

Создав свою научную школу, Ю. И. Нечаев подготовил 17 докторов технических и физико-математических наук, 36 кандидатов наук, многих лауреатов конкурсов лучших студенческих научных работ. Своими энциклопедическими знаниями в сфере современной науки и огромным опытом творческой работы Ю. И. Нечаев щедро делился со студентами, аспирантами и коллегами по работе в СПбГМТУ, читал лекции по приглашениям ведущих российских и зарубежных вузов, таких как Национальный исследовательский университет ИТМО, Калининградский государственный технический университет, Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Кэмбриджский, Бременский, Амстердамский университеты. Научные труды Ю. И. Нечаева отмечены высокими наградами: Золотой медалью за победу в рейтинге на должность Международного эксперта по высокопроизводительным вычислениям и интеллектуальным системам (Вашингтон, США, 2009), Золотой медалью за доклад «Современная теория катастроф: концепция и приложения» (Кембридж, Великобритания, 2010), Золотой медалью за доклад «Физико-философские аспекты интеллектуальных технологий XXI века», медалью имени Альберта Эйнштейна (США, 2011), медалью имени Исаака Ньютона (Великобритания, 2013).

Ему были присвоены звания Почетного академика Российской академии естественных наук (2003), Рыцаря науки и искусств (Россия, Япония, 2004), Заслуженного деятеля науки РФ (2007) и в том же 2007 г. звание Выдающегося ученого XXI века (Кембридж, Великобритания). В 2012 г. он стал Почетным доктором Калининградского государственного технического университета.

Юрий Иванович обладал высокими человеческими качествами, такими как честность, порядочность, доброжелательность, и многими замечательными способностями, в том числе музыкальными, что делало общение с ним не только полезным, но и приятным.

Юрии Иванович навсегда останется в памяти и в сердцах знавших его людей.

Ректорат СПбГМТУ выражает глубокие соболезнования его семье, близким и друзьям.

Редсовет, редакционная коллегия и редакция журнала «Морской вестник» выражают искренние соболезнования семье и друзьям Юрия Ивановича Нечаева. ■

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ

ЧАСТЬ 1

Г.Е. Егиазаров, *начальник технического управления ПАО «Выборгский судостроительный завод»,*
В.В. Якимов, *науч. сотрудник АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота»,*
контакт. тел. +7 (921) 866 5189

ВВЕДЕНИЕ

Преобладающее большинство морских судов, проектируемых и строящихся для отечественных заказчиков, имеет ледовый класс и предназначено для регулярной эксплуатации в арктических или замерзающих неарктических морях.

В настоящее время флот с классом Российского морского регистра судоходства (РМРС) насчитывает около 3000 судов ледового плавания. Более 500 судам присвоен ледовый класс Arc4 и выше, а более 40 судов относятся к ледоколам [1].

ФГУП «Атомфлот» является единственным в мире оператором атомного ледокольного флота, который состоит из новейшего универсального ледокола «Арктика» мощностью на валах 60 МВт, двух ледоколов «Ямал» и «50 лет Победы» мощностью на валах 49 МВт и двух ледоколов «Таймыр» и «Вайгач» мощностью на валах 32,5 МВт. Кроме того, в состав флота компании входят атомное ледокольно-транспортное судно (лихтеровоз-контейнеровоз) «Севморпуть», а также суда портового флота ледового класса для работы в рамках проекта «Ямал СПГ», включая дизель-электрический портовый ледокол «Обь» мощностью на валах 12 МВт [2].

ФГУП «Росморпорт» – крупнейший в мире оператор неатомного ледокольного флота, а его доля на отечественном рынке указанных судов превышает 80% (по количеству). Всего в хозяйственном ведении компании находятся 36 ледоколов, в том числе 16 линейных, 7 линейных мелкосидящих и 13 вспомогательных и портовых. Более 40% ледоколов закреплено за Северо-Западным бассейновым филиалом, включая три введенных в эксплуатацию в 2015–2016 гг. дизель-электрических ледокола мощностью на валах 18 МВт типа «Владивосток», а также самый мощный (мощностью на валах 25 МВт) и большой (водоизмещением ок. 23 тыс. т) современный дизель-электрический ледокол «Виктор Черномырдин» [3].

Собственный и зафрахтованный флот группы компаний «Совкомфлот» насчитывает более 80 судов ледового плавания, что составляет примерно 60% от общего количества ее судов и делает крупнейшим оператором флота ледового класса. Указанные суда используются в том числе для морской транспортировки сырой нефти и сжиженного природного газа и обслуживания морских добывающих платформ в рамках масштабных комплексных проектов по освоению месторождений углеводородного сырья. Информация о составе флота ледового класса группы компаний «Совкомфлот», задействованного для работы в рамках соответствующих проектов, приведена по состоянию на сентябрь 2021 г. в табл. 1 [4].

Можно упомянуть еще ряд крупных отечественных судоходных компаний, каждая из которых эксплуатирует более десяти морских транспортных судов ледового плавания, преимущественно сухогрузные суда различного назначения, имеющие дедвейт до 15 тыс. т, ледовый класс Arc4 и возраст более 20 лет. Информация о составе морского транспортного флота ледового класса соответствующих судоходных компаний приведена по состоянию на сентябрь 2021 г. в табл. 2.

Кроме судоходных компаний, собственный флот ледового класса имеет ряд крупных отечественных компаний, занятых добычей и переработкой топливных и рудных полезных ископаемых. Собственный флот горно-металлургической компании «Норильский никель» предназначен для вывоза товарной металлопродукции и снабжения промышленного района материально-техническими ресурсами. Он состоит из шести транспортных судов ледового класса Arc7 и дедвей-

Таблица 1

Состав флота ледового класса группы компаний «Совкомфлот»

№ п.п.	Проект	Месторождения, акватория	Суда ледового плавания (количество, тип, дедвейт, ледовый класс, год постройки)
1	Приразломное	Приразломное нефтяное месторождение, Печорское море	2 челночных танкера типа «Михаил Ульянов»: Panamax, *DW* = 70 тыс. т, Arc6, 2010 г.
2	Варандей	Тимано-Печорское и соседние нефтяные месторождения, Печорское море	3 челночных танкера типа «Василий Динков»: Panamax, *DW* = 70 тыс. т, Arc6, 2008–2009 гг.
3	Новый порт	Новопортовское нефтегазоконденсатное месторождение, Обская губа, Карское море	4 челночных танкера типа «Штурман Альбанов»: MR, *DW* = 41,5 тыс. т, Arc7, 2016 и 2019 г г.
4	Ямал СПГ	Южно-Тамбейское газовое месторождение, Обская губа, Карское море	Головной газовоз СПГ «Кристоф де Маржери»: Yamalmax, *V* = 172.5 м^3, Arc7, 2016 г.
5	Сахалин-1	Нефтегазовые месторождения Чайво, Одопту и Аркутун-Даги, Охотское море	5 челночных танкеров типа «Павел Черныш»: Aframax, *DW* = 101 тыс. т, Ice2, 2005 г.
			2 ледокольных судна снабжения платформ типа «Витус Беринг»: *DW* = 4,7 тыс. т, Icebreaker6, 2012--2013 гг.
6	Сахалин-2	Пильтун-Астохское нефтяное и Лунское газовое месторождения, Охотское море	2 газовоза СПГ типа «Гранд Елена»: Conventional, *V* = 145 м^3, Ice2, 2007–2008 гг.
			Челночный танкер «Залив Анива»: Aframax, *DW* = 103 тыс. т, Ice2, 2009 г.
			2 челночных танкера типа «Залив Байкал»: Aframax, *DW* = 104,5 тыс. т, Ice2, 2009 г.
			3 ледокольных судна снабжения платформ типа «Эндевор»: *DW* = 4,5 тыс. т, Arc6, 2006 г.
			Ледокольное судно снабжения платформ «Геннадий Невельской»: *DW* = 3,3 тыс. т, Icebreaker6, 2017 г.
			3 многофункциональных ледокольных дежурных судна типа «Степан Макаров»: *DW* = 3,8 тыс. т, Icebreaker6, 2017 г.

Таблица 2

Состав морского транспортного флота ледового класса судоходных компаний

№ п.п.	Судоходная компания	Суда ледового плавания				
		количество	тип	дедвейт максимальный	ледовый класс преобладающий	возраст средний
1	Северное морское пароходство	21	Унифицированные лесовозы, универсальные сухогрузные суда	10,5 тыс. т	Arc4	23 года
2	Сахалинское морское пароходство	14	Специализированные контейнеровозы, универсальные сухогрузные суда, накатные суда	12,7 тыс. т	Arc4	25 лет
3	Хатангский морской торговый порт	13	Универсальные сухогрузные суда, нефтеналивные суда	12,2 тыс. т (с/г) 17,3 тыс. т (н/н)	Arc4	29 лет
4	Арктическое морское пароходство	12	Универсальные сухогрузные суда, навалочные суда	20,1 тыс. т (с/г) 43,7 тыс. т (н/в)	Arc4	26 лет
5	Дальневосточное морское пароходство	12	Специализированные контейнеровозы, универсальные сухогрузные суда	13,9 тыс. т	Arc4	20 лет

том ок.18 тыс. т, включая пять контейнеровозов типа «Норильский никель» и нефтяной танкер «Енисей», а также дизель-электрического ледокола [5]. Нефтяная компания «Газпром нефть» использует собственный флот для работы в рамках проекта «Новый порт». В его состав входят два ледокольных судна обеспечения мощностью на валах 21.5 МВт типа «Александр Санников» и три челночных танкера ледового класса Arc7 и дедвейтом ок. 41.5 тыс. т типа «Штурман Альбанов» [6].

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

Плавание судна во льдах должно быть безопасным и тем самым гарантировать экономически обоснованную величину негативных рисков в отношении собственно судна, перевозимого груза, человеческой жизни, окружающей среды.

Как показывает практика, эксплуатация судов в ледовых условиях сопровождается повышенной повреждаемостью взаимодействующих со льдом элементов конструкций корпуса и пропульсивного комплекса. Ледовые повреждения, получаемые пропульсивным комплексом, приводят к уменьшению скорости хода или полной остановке судна во льдах, в связи с чем представляется целесообразным рассматривать их влияние на судно в целом, прежде всего, в контексте обеспечения эффективности эксплуатации. Ледовые повреждения, получаемые конструкциями корпуса, как правило, не вызывают тяжелых аварийных последствий для судна в целом, выявляются при доковом или водолазном осмотре и устраняются при очередном плановом ремонте. Случаи аварийного затопления судов, обусловленные возникновением в корпусе водотечных пробоин в результате воздействия льда, носят исключительный, единичный характер.

Таким образом, можно полагать, что вопрос выбора оптимального уровня повреждаемости конструкций корпуса при плавании судна во льдах находится в экономической плоскости, а его решение определяется рациональным соотношением между затратами на ремонт поврежденных конструкций корпуса и затратами на строительство и эксплуатацию более материалоемкого (за счет ледовых усилений) судна. Кроме того, считается [7], что в рамках текущего технологического уклада лишена физических обоснований постановка задачи о полном исключении ледовых повреждений, получаемых конструкциями корпуса при эксплуатации судна в тяжелых ледовых условиях, прежде всего, в зимне-весенний период навигации в Восточном секторе Арктики.

На сегодняшний день возникновение в конструкциях корпуса отдельных, локализованных по площади ледовых повреждений при одновременном отсутствии ледовых повреждений массового характера интерпретируется как результат нормальной эксплуатации судна в ледовых условиях (так называемая концепция легализации отдельных повреждений). Известно, что в основу методологии проектирования конструкций ледовых усилений корпуса судов ледовых классов и ледоколов, принятой в действующих (с 1999 г. по настоящее время) требованиях «ледовых» Правил РМРС, положен комплексный критерий прочности, который представляет собой компиляцию физически обоснованных критериев предельной прочности и ограниченной пластической деформации. Использование критерия предельной прочности, описывающего переход конструкции в предельное состояние, гарантирует исключение массовых повреждений, а использование критерия ограниченной пластической деформации, описывающего недопустимое изменение геометрической формы конструкции, – удовлетворение нормативной вероятности реализации отдельных повреждений. Так, в действующих требованиях «ледовых» Правил РМРС применительно к конструкциям ледовых усилений корпуса установлен уровень повреждаемости, соответствующий реализации отдельных повреждений (при исключении массовых повреждений) примерно в 5% от общего количества конструктивных элементов в течение всего срока службы судна [7]. Дальнейшее заметное снижение указанного уровня повреждаемости требует многократного повышения уровня предельной прочности конструкций корпуса, что непосредственно связано с чрезмерным и неоправданным утяжелением судна и вряд ли практически осуществимо.

Действующие требования «ледовых» Правил РМРС регламентируют минимально необходимый уровень ледовой прочности конструкций корпуса в зависимости от знака ледового класса судна [8]. Каждому ледовому классу в качестве интегральной количественной характеристики ставится в соответствие некоторая совокупность осредненных условий плавания судна во льдах (скорость хода судна во льдах, толщина и прочность ледяного покрова и др.) – так называемый базовый режим движения. При этом в рассмотрение вводятся два базовых режима движения – допустимый, превышение которого приводит к появлению в конструкциях первых пластических деформаций, и опасный, превышение которого связано с риском получения конструкциями повреждений в результате взаимодействия корпуса судна с ледяным покровом. Согласно принципу гарантии безопасности [9], присвоение ледового класса судну обеспечивает наличие стабильного гарантированного запаса между допустимыми и опасными условиями его плавания во льдах.

Таким образом, ключевая причина получения конструкциями корпуса ледовых повреждений – эксплуатация судна в более тяжелых ледовых условиях, не допустимых для присвоенного ему ледового класса. К другим значимым причинам, способствующим повреждаемости конструкций корпуса при плавании судна во льдах, следует отнести:

- человеческий фактор при проектировании конструкций ледовых усилений корпуса (допущенные конструктором ошибки и отступления от требований нормативной документации и др.);
- человеческий фактор при эксплуатации судна в ледовых условиях (допу-

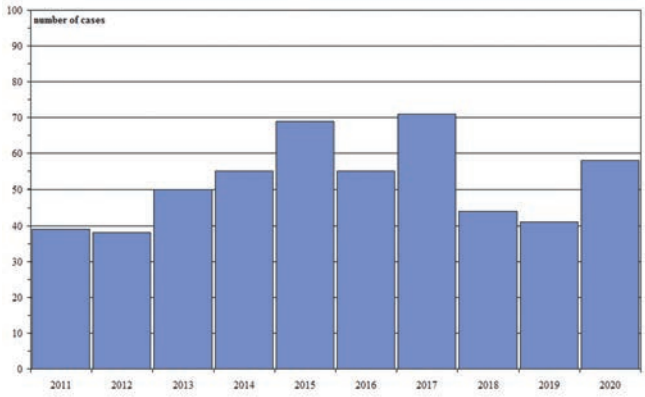


Рис. 1. ***Распределение общего количества инцидентов и аварий по годам***

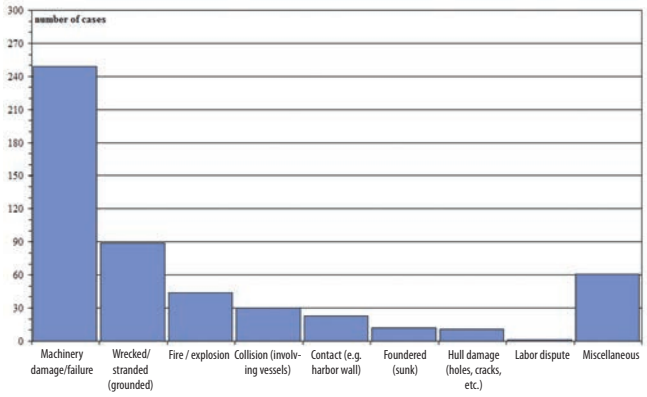


Рис. 2. ***Распределение общего количества инцидентов и аварий по причинам***

щенные судоводителем ошибки в оценке ледовой обстановки и выборе скорости хода судна во льдах, неправильные решения в части тактики ледового плавания, пренебрежение рекомендациями по обеспечению безопасности ледового плавания и др.);

• эксплуатацию в ледовых условиях судна, конструкции корпуса которого в районах воздействия ледовой нагрузки ослаблены коррозионным износом и механическим истиранием;

• эксплуатацию судна в ледовых условиях на мелководье.

Известно, что эксплуатационные отказы на море, в том числе в покрытых льдом водах, приводящие к критическому снижению уровня безопасности и эффективности (например, неприемлемые ледовые повреждения или длительные простои судна во льдах), обуславливаются двумя основными факторами – действиями экипажа (человеческий фактор) и функционированием техники (технический фактор). Как следует из анализа инцидентов и аварий на море [10], происшедших за последние несколько десятков лет, преобладающая их часть (до 80% случаев) связана именно с человеческим фактором.

Традиционные методы обеспечения эксплуатационной надежности, ориентированные главным образом на совершенствование требований к конструкциям корпуса, устройствам, системам, механизмам и оборудованию, в значительной степени исчерпали свой потенциал, прежде всего, с точки зрения экономической отдачи. Дальнейшее повышение ее уровня представляется рациональным и целесообразным только на основе синтеза традиционных методов и современных технологий с обязательным учетом человеческого фактора [11]. Поэтому разработка любого обоснованного решения, которое в конечном итоге позволит снизить влияние человеческого фактора как ключевой причины эксплуатационных отказов, будет нести мультипликативный практический эффект.

В процессе многолетнего освоения Северного морского пути был накоплен колоссальный опыт работы отечественного флота в ледовых условиях арктических морей. Он охватывает строительство ледоколов и транспортных судов ледового плавания, имеющих достаточную мощность энергетической установки и прочные конструкции ледовых усилений корпуса; создание высокоточных систем навигационного и гидрографического обеспечения судоходства по трассам Северного морского пути с одновременной передачей и обработкой ледовой информации; разработку оптимальных тактик самостоятельного плавания судов во льдах и плавания судов во льдах под проводкой ледоколов с централизованным руководством ледовыми операциями из Штабов морских операций в Западном и Восточном секторах Арктики. Таким образом, был достигнут высокий уровень безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях. Например, как показывает практика, вероятность гибели судна на трассах Северного морского пути на порядок меньше вероятности его гибели в не покрытых льдом водах Мирового океана [12].

Согласно данным, опубликованным в отчете [13], за последнее десятилетие, с 2011 г. по 2020 г., в акваториях арктических морей было зарегистрировано 520 инцидентов и аварий, связанных с эксплуатацией судов, в том числе 58 случаев в 2020 г. За указанный период было утрачено 14 судов, в том числе 2 единицы в 2020 г. Следует отметить, что практически все погибшие суда имели незначительные размерения и относились к рыбопромысловому флоту. Распределение общего количества инцидентов и аварий по годам и по причинам показано на рис. 1 и на рис. 2 соответственно. Их годовое количество изменялось почти в два раза, от 38 случаев в 2012 г. до 71 случая в 2017 г. при среднегодовом значении, составляющем 52 случая, при этом явно выраженный тренд отсутствовал. Наиболее частой их причиной были отказы и повреждения механического оборудования, на долю которых пришлось почти 50% от общего количества случаев.

В настоящее время ведется активное промышленное освоение Арктической зоны. Прежде всего, здесь реализуется целый ряд масштабных комплексных проектов по разработке месторождений углеводородного сырья на континентальном шельфе и вблизи береговой линии и по морской транспортировке сырой нефти и сжиженного природного газа по трассам Северного морского пути в западном и восточном направлениях. В связи с этим претерпевает изменение традиционная организация ледового судоходства, появляются новые тенденции, связанные с ростом объема и интенсивности грузоперевозок, эксплуатацией крупнотоннажных транспортных судов и мощных атомных ледоколов, использованием высокоширотных трасс плавания, продлением навигационного периода (вплоть до круглогодичного), переходом к новым тактикам ледового плавания, увеличением скорости хода судов во льдах и др. Указанные перемены происходят одновременно со стремительным развитием и внедрением во все сферы человеческой деятельности современных информационно-коммуникационных систем, технологий больших данных и искусственного интеллекта. Можно заключить, что вызовы и возможности настоящего времени актуализируют проблему обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях.

ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

Безопасность плавания судна во льдах зависит прежде всего от его ледовых качеств, основными из которых являются ледовая ходкость и ледовая прочность.

В отличие от плавания по чистой воде, когда скорость хода судна определяется мощностью энергетической установки, выбор ее оптимального значения во льдах имеет свою специфику. Безопасность плавания судна во льдах, обеспечиваемая прочностью корпуса и пропульсивного комплекса, регламентируется классификационным обществом посредством присвоения судну соответствующего ледового класса в зависимости от его назначения и фактических условий

плавания. Вместе с тем на практике по тем или иным причинам судно может эксплуатироваться в более тяжелых ледовых условиях по сравнению с нормативными. В таком случае скорость хода судна во льдах должна дополнительно ограничиваться (снижаться) на основе требований к ледовой прочности, так как судно не может развивать полную мощность из-за повышенного риска получить повреждения взаимодействующих со льдом элементов конструкций корпуса или пропульсивного комплекса.

Поэтому у судов, предназначенных для эксплуатации в ледовых условиях, прочность корпуса и пропульсивного комплекса и мощность энергетической установки должны находиться в определенном соответствии. С одной стороны, прочность корпуса и пропульсивного комплекса должна быть достаточной, чтобы при плавании во льдах, в случае необходимости, судоводитель мог использовать полную мощность энергетической установки, не подвергая судно повышенному риску получить ледовые повреждения. С другой стороны, во избежание увеличения металлоемкости и снижения грузоподъемности судна прочность корпуса и пропульсивного комплекса не должна быть слишком избыточной, чтобы при плавании во льдах в случае работы энергетической установки на полную мощность соответствующий запас прочности не превышал минимально требуемое значение. К сожалению, применительно ко многим судам ледового плавания указанный баланс не соблюдается.

В настоящее время имеют место два основных используемых на практике подхода к обеспечению безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях:

• система оценки безопасных режимов движения во льдах на основе требований к ледовой ходкости и ледовой прочности, принятая в отечественной практике и воспроизводимая преимущественно при подготовке Ледовых сертификатов на суда ледового плавания;

• система оценки эксплуатационных ограничений в полярных водах на основе индексации рисков, принятая в западной практике и воспроизводимая преимущественно при подготовке Наставлений по эксплуатации в полярных водах судов ледового плавания.

Одним из базовых критериев, от которых зависит безопасность и эффективность эксплуатации судна в ледовых условиях и которые определяют основное содержание Ледового сертификата, является безопасная (безопасная возможная) скорость хода судна во льдах. Безопасная скорость хода – это максимальная скорость хода, которую конкретное судно может развить в заданных ледовых условиях при плавании самостоятельно или под проводкой ледокола, не получая ледовых повреждений. Безопасная скорость хода традиционно находится из сопоставления достижимой и допустимой скоростей хода и соответствует минимальной из них.

Достижимая скорость хода – это максимальная скорость хода, которую конкретное судно может развить в заданных ледовых условиях при работе энергетической установки на полную мощность. Достижимая скорость хода зависит от главных размерений судна, параметров формы корпуса, характеристик пропульсивного комплекса, технического состояния наружной обшивки, а также от параметров ледовой обстановки и физико-механических свойств льда.

Допустимая скорость хода – это максимальная скорость хода, с которой конкретное судно может двигаться в заданных ледовых условиях, не получая ледовых повреждений. С точки зрения ледовой прочности, допустимую скорость хода обычно рассматривают совместно с опасной скоростью хода. Опасная скорость хода – это максимальная скорость хода, с которой конкретное судно может двигаться в заданных ледовых условиях, не получая неприемлемых ледовых повреждений. Под неприемлемыми повреждениями здесь следует понимать массовые повреждения или отдельные повреждения с недопустимыми остаточными деформациями. Допустимая и опасная скорости хода зависят от водоизмещения судна, параметров формы корпуса, характеристик прочности элементов конструкций корпуса и пропульсивного комплекса, а также от параметров ледовой обстановки и физико-механических свойств льда.

Характерный график, иллюстрирующий процедуру определения безопасной скорости хода судна во льдах, представлен на рис. 3. Как можно видеть из него, вся совокупность режимов движения судна во льдах разделяется в общем случае на следующие четыре зоны:

• зона нормальной эксплуатации судна («зеленая» зона), включающая режимы движения, которые являются доступными по требованиям к ледовой ходкости и при которых практически исключаются любые ледовые повреждения;

• зона рискованной эксплуатации судна («желтая» зона), включающая режимы движения, которые являются доступными по требованиям к ледовой ходкости и при которых становится возможной реализация отдельных ледовых повреждений с допустимыми остаточными деформациями (при исключении);

• зона аварийной эксплуатации судна («красная» зона), включающая режимы движения, которые являются доступными по требованиям к ледовой ходкости и при которых происходит реализация неприемлемых ледовых повреждений;

• зона невозможной эксплуатации судна («белая» зона), включающая режимы движения, которые являются недоступными по требованиям к ледовой ходкости.

Многолетний и успешный опыт использования Ледовых сертификатов, накопленный к настоящему времени, свидетельствует о следующем. Принятая в отечественной практике система оценки безопасных режимов движения во льдах на основе требований к ледовой ходкости и ледовой прочности позволяет, во-первых, обеспечить высокий уровень безопасности морских судов при плавании во льдах и, во-вторых, повысить эффективность работы флота в ледовых условиях. Целесообразность разработки Ледовых сертификатов на суда ледового плавания признана Российским морским регистром судоходства и Администрацией Северного морского пути. Кроме того, отечественный подход признан международным морским сообществом

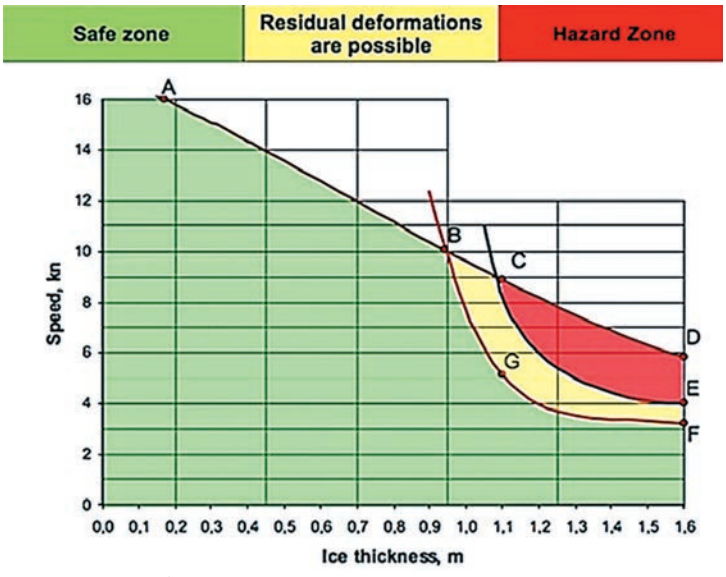


Рис. 3. ***Определение безопасной скорости хода судна во льдах: ABCD – кривая достижимых скоростей хода; BGF – кривая допустимых скоростей хода; CE – кривая опасных скоростей хода; ABGF – кривая безопасных скоростей хода***

в качестве инструмента, который может быть задействован в рамках новой системы отношений, устанавливаемой Полярным кодексом [12]. Однако, по мнению авторов, конъюнктура, сложившаяся в последние годы на уровне Международной морской организации, способствует продвижению именно западного, риск-ориентированного подхода, в то же время отечественному подходу не уделяется должного внимания, несмотря на его физическую обоснованность, количественность и комплексность. При этом практически во всех случаях оба подхода используются независимо друг от друга, отсутствует достаточная степень их связанности и гармонизации.

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ РЕГЛАМЕНТИРУЮЩЕЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

Ниже выявлены и проанализированы актуальные проблемы разработки и применения документации, регламентирующей безопасность эксплуатации судов в ледовых условиях, прежде всего в отношении Ледового сертификата.

Увеличение трудоемкости и срока подготовки документации составляет ключевую проблему для разработчика. Основная причина – необходимость рассматривать значительное количество сценариев взаимодействия корпуса судна и ледяного покрова и реализовывать для каждого из них однотипные расчетные процедуры в рамках принятой математической модели. Обычно учитываются не менее ста различных сценариев взаимодействия, но в некоторых случаях их количество может достигать нескольких сотен. Данный факт объясняется явно выраженной пространственно-временной изменчивостью параметров гидрометеорологической и ледовой обстановки на трассах плавания судна, разнообразием режимов плавания судна во льдах, геометрической неоднородностью и конструктивной неравнопрочностью корпуса по длине и высоте судна. Возможное техническое решение – разработка специализированного программного обеспечения, которое позволяет автоматизировать выпуск документации, применять унифицированные форматы данных, интегрировать отдельные программные модули и др. (например, программа для ЭВМ [14]).

Затруднение процедур поиска, восприятия и анализа необходимых данных (даже в случае их представления в структурированном и унифицированном виде) и связанное с этим снижение скорости принятия навигационных решений составляют ключевую проблему для пользователя. Основная причина – необходимость использовать значительный обем текстовой, числовой и графической информации, которую содержит твердая копия и/или электронная версия документации (до нескольких сотен страниц). Возможное техническое решение – разработка специализированного программного обеспечения, которое позволяет автоматизировать на борту судна реализацию функциональных свойств документации, а также поиск, извлечение и визуализацию необходимых данных, соответствующих фактическим условиям плавания судна во льдах (например, автоматизированный Ледовый паспорт [15]).

Уменьшение возможности для корректировки методического обеспечения, пополнения баз данных, улучшения формы представления данных и др. на основе результатов эксплуатации судна составляет ключевую проблему, общую для разработчика и пользователя. Основная причина – ограниченная непосредственная коммуникация между разработчиком и пользователем. Обычно их активное взаимодействие осуществляется только на этапах разработки, согласования и приема-передачи документации, после чего преимущественно прерывается. Возможное решение находится не столько в технической, сколько в социальной плоскости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая статья носит концептуальный характер и содержит первую часть материала, подготовленного авторами для публикации. В статье рассмотрены следующие основные аспекты, касающиеся обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях с учетом вызовов и возможностей цифровой реальности:

- выполнен развернутый обзор современного состояния обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях;
- представлены и исследованы два основных используемых на практике подхода к обеспечению безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях – система оценки безопасных режимов движения во льдах на основе требований к ледовой ходкости и ледовой прочности и система оценки эксплуатационных ограничений в полярных водах на основе индексации рисков;
- выявлены и проанализированы актуальные проблемы разработки и применения документации, регламентирующей безопасность эксплуатации судов в ледовых условиях, определены приоритетные пути их решения.

На основании информации, изложенной в статье, следует заключить, что риск-ориентированная методология обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях и построенные на ее основе бортовые информационные системы в наибольшей степени отвечают вызовам и возможностям цифровой реальности.

В статье, содержащей вторую часть материала, будут приведены примеры бортовых цифровых сервисов как элементов единой системы мониторинга ледовой обстановки и состояния судна в целом, а также будет представлена предложенная авторами концепция бортовой риск-ориентированной информационной системы обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. ФАУ «Российский морской регистр судоходства». – URL: https://rs-class.org/ (дата обращения: 27.09.2021).
2. ФГУП «Атомфлот». – URL: http://www.rosatomflot.ru/ (дата обращения: 27.09.2021).
3. ФГУП «Росморпорт». – URL: https://www.rosmorport.ru/ (дата обращения: 27.09.2021).
4. Группа компаний «Совкомфлот». – URL: https://www.scf-group.com/ (дата обращения: 27.09.2021).
5. ПАО «ГМК «Норильский никель». – URL: https://www.nornickel.ru/ (дата обращения: 27.09.2021).
6. ПАО «Газпром нефть». – URL: https://www.gazprom-neft.ru/ (дата обращения: 27.09.2021).
7. *Апполонов Е.М.* Ледовая прочность судов, предназначенных для круглогодичной арктической навигации. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2016. – 288 с.
8. НД № 2-020101-124. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. – Ч. II:Корпус. Дата введения 2020-01-01. – СПб.: Изд-во РМРС, 2020. – 298 с.
9. *Апполонов Е.М.* Решение проблем обеспечения прочности судов ледового плавания и ледоколов в условиях круглогодичной эксплуатации в Арктике: дисс. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2003. – 380 с.
10. *Дмитриев В.И.* Обеспечение безопасности плавания: учеб. пособие для студентов (курсантов) вузов. – М.: Академкнига, 2005. – 374 с.
11. *Матлах А.П.* Научные основы повышения надежности судов ледового плавания с использованием комплексной системы мониторинга параметров прочности и вибрации: дисс. ... д-ра техн. наук. – СПб., 2006. – 342 с.
12. *Цой Л.Г.* Изучение ледовых качеств и обоснование рациональных параметров судов ледового плавания: Сб. трудов. – СПб.: Нестор-История, 2017. – 520 с.
13. Safety & Shipping Review 2021: An Annual Review of Trends and Developments in Shipping Losses and Safety / Allianz Global Corporate & Specialty SE. – Munhen, 2021. – 58 p.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014618563 Российская Федерация. Расчет допустимых скоростей движения судна во льдах для случая наклонного борта / В.В. Якимов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО СПбГМТУ. – № 2014616568; заявл. 08.07.2014; опубл. 20.09.2014. – 1 с.
15. *Петров А.Ю., Андрюшин А.В., Зуев П.С.* Автоматизация ледового паспорта судна арктического класса // Рациональное управление предприятием. – 2018. – № 2. – С. 46–47. ■

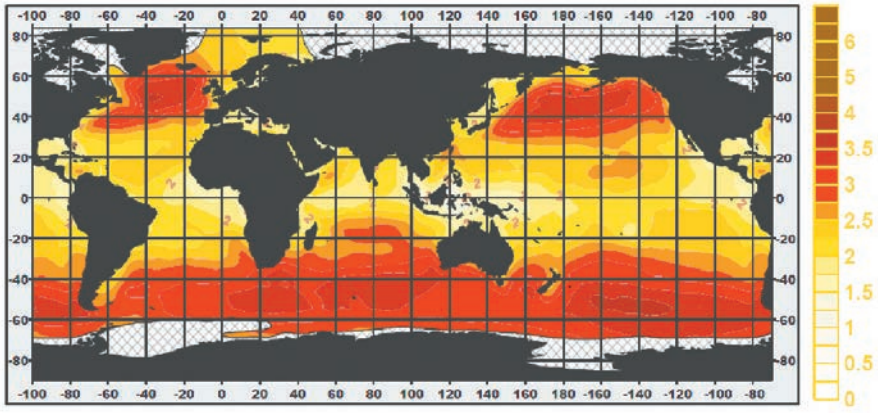
ОЦЕНКА ПОВЕДЕНИЯ СУДОВ В СОВРЕМЕННЫХ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЯХ*

П.А. Шауб, *д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ,*
А.А. Уляшев, *зам. директора КБ «Восток» – главный конструктор,*
АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»,
контакт. тел. (812) 786 1619

Само понятие плавучести впервые сформировалось по работам С.О. Макарова еще в 1870–1898 гг., где им был приведен анализ непотопляемости кораблей того времени, которую он считал «важнейшим боевым качеством» [1]. Им были разработаны принципы контрзатопления отсеков для спрямления поврежденного корабля, первые таблицы непотопляемости, его спрямления. В дальнейшем академик А.Н. Крылов усовершенствовал таблицы непотопляемости С.О. Макарова, внедрив расчетное определение посадки и остойчивости поврежденного и спрямленного судна.

Можно еще упомянуть известных отечественных ученых нашего времени В.Г. Власова, Н.П. Муру, А.Н. Базилевского, Я.И. Войткунского, Н.Я. Мальцева, Д.В. Дорогостайского и еще многих других, работавших над дальнейшим совершенствованием оценки непотопляемости как главного элемента живучести судна, ибо утрата непотопляемости равносильна утрате его как плавучего инженерного сооружения и как эксплуатационной единицы флота.

Однако все перечисленные выше работы были выполнены для статических условий: на спокойной воде, при отсутствии ветра и волнения (статическая непотопляемость), в линейной постановке. Динамические задачи непотопляемости в условиях морского волнения появились лишь в послевоенный период (Н.Н. Моисеев [3, 4], П.А. Шауб [5, 6], Н.Я. Мальцев [7, 8]), что накладывает дополнительные условия на оценку решения задач непотопляемости и остойчивости поврежденного судна в штормовых условиях. При этом считалось [8], что поврежденное судно неподвижно, находится на тихой воде при отсутствии ветра, что в общем случае при наличии воды в отсеках не дает возможности оценить истинное его состояние. Безопасность плавания как неповрежденного, так и поврежденного судна обеспечивается по-разному в связи с отсутствием единого подхода к нормированию его остойчивости. В статике уровень остойчивости обеспечивается наибольшим плечом диаграммы статической остойчивости, в динамике – соотношением моментов опрокидывающего и кренящего. Необходим единый подход к нормированию остойчивости неповрежденного и поврежденного судна, особенно в штормовых условиях, с переходом к оценке возможности их опрокидывания. Данная проблема может быть решена на базе нелинейной теории качки с учетом ряда причин, основными из которых являются [5, 8]: принципиально нелинейный характер диаграммы статической и динамической остойчивости судна; несимметричность колебания судна, имеющего начальный аварийный угол крена (асимметричные колебания), наличие у поврежденного судна затопленных отсеков I, II и III категорий при одинаковых внешних штормовых условиях. Данный анализ может быть выполнен только с использованием динамических методов исследования в нелинейной постановке [5, 6, 8] и с учетом волнения моря и ветра. Вышеизложенное рассмотрено в последнем издании Справочника по теории корабля, в т. 2 [9], в разделах: «Статика судна», где излагается плавучесть, остойчивость, непотопляемость, и «Качка судов», в основном в линейной постановке, для неповрежденных судов и кораблей.



Средняя высота волн в Мировом океане

При решении поставленной задачи необходимо учитывать современные показатели изменения штормовых условий: при усилении силы ветра (м/с) в 2–3 раза; балльности моря – в 1,5–2 раза, а также частоты и вероятности возникновения таких условий в данном районе в 1,5–2,5 раза в год [10].

Именно поэтому за последние 10 лет [10] в мире увеличилось число аварий и гибели судов. Так, с 2008 по 2017 г. из 1129 судов из-за потери плавучести вследствие штормовой погоды погибло 593 судна, что превышает в несколько раз число гибели судов по другим причинам: посадка на мель – 229 судов; пожары, взрывы – 112 судов; столкновения – 67 судов и т.д. (табл. 1 и табл. 2).

Аналогичная ситуация отмечается и с малотоннажными рыболовными судами. За 21 год (1995–2016 г.) аварию потерпели 900 судов. При этом правила

Таблица 1

Общие потери по типам судов за 2008–2017 гг.

Тип судна	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Всего
Сухогрузы	59	52	61	38	62	41	31	40	34	53	471
Рыболовные	36	29	21	14	12	13	15	16	10	8	174
Балкеры	8	10	11	14	10	15	5	13	5	7	98
Пассажирские	5	5	3	7	7	8	10	7	11	5	68
Буксиры	7	7	6	7	7	6	7	5	59		
Химовозы/продуктовозы	7	9	6	2	8	10	2	3	7	4	58
Ролкеры	8	6	1	3	5	2	5	6	9	45	
Контейнеровозы	2	4	5	3	6	4	4	5	4	3	40
Прочие	5	5	3	5	3	6	4	4	3	1	39
Снабженцы ОСУ	1	3	2	2	3	2	3	3	2	2	23
Земснаряды	5		2	2	1		1	1	1	3	16
Танкеры	3	2	3	4	1		1			2	16
Баржи	3		1			3	1		3	1	12
Газовозы	1		1	1	1				1		5
Тип неизвестен	1					1		2	1		5
Всего	151	130	127	97	125	112	89	106	98	94	1128

* В основе статьи – доклад на конференции PAAMES/AMEC2021.

Таблица 2

Причины потерь судов за 2008-2017 гг.

Причина	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Всего
Потери плавучести	73	61	64	45	55	170	50	66	48	61	593
Посадки на мель	34	23	24	29	27	21	18	20	20	13	229
Пожары/взрывы	16	14	12	9	13	15	6	9	12	6	112
Отказы механизмов	8	7	4	6	15	2	5	2	10	8	67
Столкновения	13	13	10	3	5	2	2	7	1	1	57
Повреждения корпуса	4	8	4	3	7	1	5	2	4	5	43
Прочие	1	2	6	1	1	1	2		1		15
Навалы											
Пропажа без вести	1		1						2		4
Нападения пиратов		1	2	1							4
Всего	151	130	127	97	125	112	89	106	98	94	1129

эксплуатации, предусмотренные Регистром, не нарушались [11].

Даже краткий анализ характеристик современных штормовых условий показывает необходимость пересмотра нормирования непотопляемости и остойчивости как неповрежденного судна, так и поврежденного, используя разработанную и экспериментально подтвержденную модель [6], основанную на методе гармонической линеаризации для приближенного решения нелинейного уравнения качки поврежденного судна с отсеками, частично заполненными жидкостью, как при симметричных, так и несимметричных колебаниях на ходу, при волнении и ветре.

Суть гармонической линеаризации состоит в том, что она заменяет периодическое движение динамической системы движением гармоническим.

Таким образом, если имеется нелинейность вида $y = F(x)$, то периодическое решение для переменной x ищется приближенно в виде

$$x = A\sin\sigma t, \qquad (1)$$

где A и σ – искомые амплитуда и частота.

При этом, хотя величина y и далека от синусоиды, но в случае периодических колебаний с основной частотой σ ее можно разложить в ряд Фурье:

$$y = \sum_{n=1}^{t=0} B_n \sin(n\sigma t + t\beta_n), \qquad (2)$$

где B_n и β_n – амплитуда и фаза n-й гармоники.

Исследования показали, что судно, тем более поврежденное, является фильтром низких частот, т.е. оно не пропускает колебания высоких частот. Кроме того, сама амплитуда B_n тем меньше, чем выше номер гармоники.

Исходя из вышеизложенного, для отыскания решения (1) берется не полное выражение нелинейной функции (2), а только ее первая гармоника

$$x = B_1 \sin\sigma t, \qquad (3)$$

где B_1 – коэффициент Фурье, равный

$$B_1 = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} F(A\sin\varphi)\sin\varphi d\varphi. \qquad (4)$$

Тогда формула (3) для x может быть переписана в виде

$$F(x) = qx, \qquad (5)$$

где $q = \frac{B_1}{A} = \frac{1}{\pi A}\int_0^{2\pi} F(A\sin\varphi)\sin\varphi d\varphi. \qquad (6)$

Операция (5) называется *гармонической линеаризацией данной нелинейности*.

При этом важно отметить, что переменная x, стоящая под знаком нелинейной функции, изменяется по закону, близкому к синусоидальному ($x = A\sin\sigma t$), и формулы изменения остальных переменных не будут играть роли. Это замечание имеет большое практическое значение, особенно для динамических систем, имеющих несколько переменных, какой является поврежденное судно.

Рассмотрим вышеизложенное на упрощенном примере бортовой качки поврежденного судна, на регулярном волнении, расположенного лагом к волне в условиях влияния еще и ветра [6].

Уравнение бортовой качки поврежденного судна с условием переливания «внутренней жидкости» будет иметь вид

$$\begin{aligned}&\left(J_c + J_ж + \lambda_{44}\right)\cdot\ddot{\theta} + 2N\cdot\dot{\theta} + Dl(\theta) + \\ &+\ddot{Y}\rho\sum_{m=1}^{\infty}\beta_m^2 + \ddot{\theta}\rho\sum_{m=1}^{\infty}\delta_m\beta_m + \rho\sum_{m=1}^{\infty}\left(\frac{\beta_m}{\lambda_m} - \delta_m\right); \\ &\ddot{q}_m = \left(Dh_0 - \lambda_{44}\sigma^2\right)\chi_0\alpha_0\sin\sigma t + \\ &+2N_0\chi_0\sigma\alpha_0\cos\sigma t + L_0.\end{aligned} \qquad (7)$$

Четвертый, пятый и шестой члены уравнения (7) представляют собой моменты сил, обусловленные движением жидкости в отсеке. Представим

$$\ddot{Y} = \sigma^2\chi_\eta r_0\sin\sigma t = g\frac{\chi_n}{\chi_\theta}\alpha_{эф},$$

где $\alpha_{эф} = \chi_\theta\alpha_0\sin\sigma t$.

Тогда главный возмущающий момент при переносе четвертого члена в уравнении (7) вправо может быть представлен в виде

$$L_0 = Dh_0\alpha_{эф} = Dh_f\alpha_{эф}. \qquad (8)$$

Пятый член $\rho\sum_{m=1}^{\infty}\delta_m\beta_m$ учитывает влияние волнового движения жидкости на момент инерции поврежденного корабля.

Шестой член является дополнительным возмущающим моментом от волнового движения «внутренней» жидкости, который возникает вследствие нестационарности ее волнового потока. Однако его влияние на амплитуду бортовой качки невелико, и в первом приближении им можно пренебречь. Из перечисленных выше моментов учитываются лишь те, которые изменяют его инерционные свойства.

Окончательно исследуемую систему представим в виде

$$\begin{aligned}&J_{эф}\ddot{\theta} + 2N_\theta\dot{\theta} + Dl_{(\theta)} = (Dh_f - \lambda_{44}\sigma^2)\times \\ &\times\chi_\theta\alpha_0\sin\sigma t + 2N_\theta\sigma\alpha_0\cos\sigma t + L_0,\end{aligned} \qquad (9)$$

где $J_{эф}$ эффективный момент инерции отражающий влияние влившейся жидкости при

$$J_{эф} = J_{0+}\lambda_{44} + i - i_в - i_{св} = J + i - i_в - i_{св}. \qquad (10)$$

Здесь момент инерции равен $J+i$, если влившаяся вода заморожена; $i_в = 4M_3b^2\Gamma(f)$ отражает влияние влившейся жидкости при отсутствии свободной поверхности.

Данное влияние было детально исследовано Н.Г. Жуковским и характеризует как бы «проворачивание» жидкости относительно твердого тела в направлении, противоположном вращению.

Для прямоугольного отсека функция

$$\Gamma\left(\frac{f}{b}\right) = \frac{1}{3} - \left(\frac{2}{\pi}\right)^5\frac{4b}{f}\sum_{n=0}^{\infty}\frac{1}{2n+1}th\frac{2n+1}{4}\frac{\pi f}{b}. \qquad (11)$$

Изменение момента инерции поврежденного судна от волнового влияния свободной поверхности определяется как

$$i_{св} = -\rho\sum_{m=1}^{\infty}\delta_m\beta_m. \qquad (12)$$

Исследование показало, что момент инерции сравнительно невелик, и им можно при небольших повреждениях пренебречь.

Рассмотрим уравнение (7) для определения несимметричных колебаний поврежденного корабля, отнеся все его члены к $J_{эф}$.

С учетом вышесказанного

$$\ddot{\theta} + 2\nu_\theta\dot{\theta}Dl_{(\theta)} = H\sin\left(\sigma t + \Sigma\right) + L_0, \qquad (13)$$

$$\theta = \theta_0 + \theta^*, \qquad (14)$$

где $\theta^* = \theta_m\sin[\left(\sigma t + \Sigma\right) + \beta], \qquad (15)$

θ_0 –начальный угол крена поврежденного судна.

Тогда согласно [6] определяется гармоническая линеаризация нелинейности l_0 и l_m.

Величины θ_0, θ_m, σ в переходном режиме могут рассматриваться как медленно изменяющиеся в течение обычного периода, но в нашем случае при установившихся бортовых колебаниях θ_0, θ_m, σ, которые входят в l_0 и l_m, эти величины постоянные, поэтому уравнение (13) может быть разделено нелинейным образом на два уравнения,соответственно для постоянной и колебательной составляющих:

$$\begin{aligned}&Dl_{(0)} = \overline{L_0}; \\ &(\rho_2 + 2\nu_0\rho)(\theta_0 + \theta^*) - \\ &-\frac{H}{\theta_m}(\cos\beta - \frac{\sin\beta}{\sigma}\rho)\theta^* + Dl_{(m)}\theta^* = 0.\end{aligned} \qquad (16)$$

Как видно из первого уравнения системы (16), величина статического

отклонения θ_0 от равновесного положения, относительно которого происходит колебание поврежденного судна, в нелинейной задаче зависит как от кренящего постоянного действующего момента L_0, так и от амплитуды и частоты возмущающей силы. В свою очередь, амплитуда вынужденных колебаний θ_m зависит от величины постоянно действующего внешнего воздействия L_0. В этом принципиальное отличие решения нелинейной задачи от линейной. В случае линейной зависимости восстанавливающего значения момента от угла крена из первого уравнения системы (16) получаем

$$Dh\theta_0 = L_0, \quad \theta_0 = \frac{L_0}{Dh},$$

что является обычной метацентрической формулой остойчивости.

Таким образом, в нелинейной задаче статическое отклонение от положения равновесия зависит уже от параметров качки корабля и возмущающих сил. Зависимость амплитуды и частоты колебаний от величины смещения центра колебаний характерно именно для нелинейных систем, в то время как в линейных системах смещение центра колебаний не играет роли. Система (16) содержит все три неизвестных θ_0, θ_m, и β.

Если подставить в (16) $\rho = i\sigma$, то получим синусоидальное решение

$$(-\tau^2 + 2\nu_\theta i\sigma) - \frac{H}{\theta_m}(\cos\beta - \frac{sin\beta}{\tau} i\sigma) + \bar{D} l_m = 0. \quad (17)$$

При несимметричных колебаниях необходимо совместить решение двух уравнений

$$Dl_0 = L_0,$$

$$Q_m[L - \sigma\frac{2}{2\pi} + 2\nu_\theta i\sigma) + \bar{D} l_m] = Hi - i\beta, \quad (18)$$

где $$l_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} l(\theta_0 + \theta_m sin\psi)d\psi; \quad (19)$$

$$l_m = \frac{1}{\pi\theta_m}\int_0^{2\pi} l(\theta_0 + \theta_m sin\psi)\sin\psi d\psi \quad (20)$$

при $\psi = (\sigma t + \Sigma) + \beta$, $l_{(\theta)} = l_0 + l_m\theta^*$. (21)

Использование (20) более подробно указано в [6].

С учетом изложенного был проведен анализ [12] гибели судна «Онега» – траулера-ярусолова норвежской постройки в Баренцевом море, в районе Новой Земли, и сделаны выводы о факторах, которые привели к трагедии. Среди них можно выделить наличие отрицательной остойчивости, а также действие погоды и (или) экипажа судна, приведшие к возникновению существенного крена.

ВЫВОДЫ

1. Задачи оценки динамической непотопляемости и качки судна, как неповрежденного, так и аварийного, должны решаться в единой динамической нелинейной системе на ходу при наличии возможного крена с учетом волнения и ветра.

2. Для решения таких задач рекомендуется метод гармонической линеаризации, учитывая, что судно, особенно поврежденное, является низкочастотным фильтром.

3. Анализ полученных результатов показывает, что динамический эффект «внутренней» жидкости на поведение поврежденного судна, отсеки которого частично заполнены ею, при небольших повреждениях незначителен по сравнению со статическими и инерционными свойствами влившейся жидкости. В связи с этим наиболее важным является более точный расчет статического влияния «внутренней» жидкости на параметры качки поврежденного судна. Вот почему так важна замена линейных членов остойчивости на нелинейный член $Dl(\theta)$, что дает возможность при накренении учесть:

- влившуюся в отсеки жидкость;
- конфигурацию затопленного отсека;
- оголение палуб и заливание подволока;
- обводы поврежденного корабля;
- угол крена.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Макаров С.О.* О непотопляемости судов. – Морской сборник, 1875.
2. *Макаров С.О.* Разбор элементов, составляющих боевую силу корабля. – Морской сборник, 1890.
3. *Моисеев Н.Н.* Задачи о движении твердого тела, содержащего жидкие массы, имеющие свободную поверхность.– Математический сборник, т. 32, ч. I, Изд-во АН СССР, 1953.
4. *Моисеев Н.Н.* Некоторые вопросы теории колебаний сосудов с жидкостью// Инженерный сборник. – 1954. – Т.19.
5. *Шауб П.А.* Вопросы нелинейной теории качки поврежденного судна//Докл. к XV науч.-техн. конфер. по теории корабля и гидромеханики судна (Крыловские чтение), НТО судпрома. – 1965 . – Вып. 64.
6. *Шауб П.А.* Качка поврежденного корабля. Динамическая непотопляемость. – СПб.: Моринтех, 2013.
7. *Мальцев Н.Я.* К вопросу о динамике корабля с жидкими грузами. – М.: Изд-во АН СССР, 1962.
8. *Мальцев Н.Я., Дорогостайский Д.В., Прытков Ю.К.* Теория непотопляемости судна.– Л.: Судостроение, 1973.
9. Справочник по теории корабля. – В 3-х т./ Под ред. Я.И.Войткунского – Л.: Судостроение, 1985.
10. *Мотрич В.* Новый бермудский треугольник или потери Мирового флота в 2017 г.// Морской флот. – 2018. – № 4.
11. *Ярисов В.В.* Проектное и нормативное обслуживание характеристик безопасности малотоннажных рыболовных судов. – Докт. диссертация, 2017.
12. *Шауб П.А., Уляшев А.А.* И снова SOS// Морской вестник. – 2021. – №2(78). ■

П.А. ШАУБУ – 90 ЛЕТ

31 октября 2021 г. Петру Александровичу Шаубу, доктору технических наук, профессору, заслуженному деятелю науки России, крупному ученому в области исследовательского проектирования кораблей и судов Военно-Морского Флота, исполнилось 90 лет.

П.А. Шауб внес существенный вклад в теорию и практику проектирования надводных кораблей и специальных судов ВМФ, проработав в этой области 55 лет. Он – автор 150 научных работ, в том числе пяти монографий. В указанных работах им сформулирован и решен комплекс задач, связанных с развитием методологии и методов проектирования современных кораблей и судов.

В последние годы П.А. Шауб большое внимание уделяет теме повышения живучести кораблей и судов, ее комплексной оценке. В 2013 г. вышла в свет его монография «Качка поврежденного корабля. Динамическая непотопляемость», а в последние пять лет опубликованы девять статей в журнале «Морской вестник». В настоящее время капитан 1 ранга в отставке П.А. Шауб плодотворно трудится на должности специалиста общего проектирования АО «ЦТСС».

Под его научным руководством успешно защищено 60 докторских и 232 кандидатские диссертации.

Профессор П.А. Шауб ведет большую научно-общественную работу. За большой вклад в мобилизацию научно-технической общественности для успешного выполнения стоящих перед нею задач в 1988 г. ему было присвоено звание «Почетный член Российского Научно-технического общества им. акад. А.Н. Крылова», в котором с 2004 г. профессор П.А. Шауб является вице-президентом.

Жизненный путь Петра Александровича Шауба, его работа в области кораблестроения и научных основ автоматизированного исследовательского проектирования, плодотворная общественная деятельность служат примером для молодых специалистов судостроительной отрасли.

Редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» сердечно поздравляют Петра Александровича с 90-летием, желают крепкого здоровья, творческих успехов и дальнейшей активной работы на благо Отечества.

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТРЕБОВАНИЙ К СУДОВЫМ СПАСАТЕЛЬНЫМ СРЕДСТВАМ

В.Н. Илюхин, *д-р техн. наук, проф., руководитель секции,*
Ф.Д. Виноградов*, зам. руководителя секции,*
«Поисково-спасательная техника и технологии»,
Российское НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова,
Н.А. Вальдман, *канд. техн. наук, начальник сектора,*
В.И. Таровик, *канд. техн. наук, начальник лаборатории,*
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812) 710 4011, (812) 415 4558, sntorpstt@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Основные недостатки в обеспечении безопасности экипажей судов, терпящих бедствие на море, и существующей системы поиска и спасания людей наиболее полно проявляются во время аварий. Академик А. Н. Крылов говорил: «Описание бывших аварий, критический разбор их причин, широкое и правдивое о них оповещение могут способствовать предотвращению аварий или, по крайней мере, способствовать устранению повторения аварий, уже бывших ранее. Этот критический разбор покажет, что часто истинная причина аварии лежала не в действии неотвратимых и непреодолимых сил природы, не в «неизбежных случайностях на море», а в непонимании основных свойств и качеств корабля, несоблюдении правил службы и самых простых мер предосторожности, непонимании опасности, в которую корабль ставится, в небрежности, неосторожности, отсутствии предусмотрительности и тому подобных отрицательных качествах личного состава...». Эти слова были сказаны много десятилетий назад, еще в довоенные годы, но как никогда актуальны и сегодня. Поэтому широкое обсуждение причин и сопутствующих факторов гибели людей, терпящих бедствие на море, а также поиск путей принятия эффективных мер по их недопущению соответствующими структурами должны способствовать сохранению жизни людей, оказавшихся в чрезвычайных ситуациях на море.

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ СЛУЧАЕВ ГИБЕЛИ СУДОВ

По данным Главного морского спасательно-координационного центра (МСКЦ) ФГБУ Морской спасательной службы [1] количество аварийных случаев на море за последние восемь лет имеет устойчивую тенденцию к увеличению (табл. 1).

Каждая из сотен аварий, указанных в табл. 1, имеет свои характерные особенности и причины возникновения, отличающиеся от причин других аварий. В то же время некоторые аварии судов имеют и общие аспекты. Одним из таких общих аспектов является то, что случаи гибели членов экипажей морских судов и морских объектов происходят достаточно часто до прибытия сил аварийно-спасательного обеспечения (АСО). Некоторые примеры таких аварий приведены в табл. 2.

Показатели аварийности на море по видам аварий за первую половину 2021 г. по данным Госморречнадзора (https://sea.rostransnadzor.gov.ru/) представлены на рис. 1.

Из сопоставительного анализа аварийности на море в 2020 г. и в 2015 г. по данным того же источника можно сделать следующие выводы:

Таблица 1

Данные МСКЦ об аварийности на морях

Параметр	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Всего
Всего аварийных случаев	255	305	195	181	183	191	295	316	379	453	439	**3192**
Поисково-спасательные операции	33	103	110	34	96	86	122	98	117	185	221	**1205**
Всего спасено людей:	413	421	489	174	289	336	131	93	147	707	166	**3366**
в том числе иностранцев	9	131	31	13	38	60	1	11	46	19	0	**359**
Обработано аварийных сообщений:	402	320	378	303	395	572	657	654	732	830	871	**6114**
из них ложных	334	270	291	265	316	349	362	339	353	377	432	**3688**
Эвакуация больных	51	33	50	39	43	35	50	55	47	106	160	**669**
Медицинские консультации на море	34	31	60	47	56	47	40	35	45	58	73	**526**
Участие в оказании помощи судам	81	126	128	112	166	44	74	53	38	36	24	**882**

Рис. 1. ***Число аварий на море за первую половину 2021 г.***

1. На 38% уменьшилось количество навигационных аварий (посадка на мель, навал, столкновение, потеря остойчивости, плавучести и т. д.), вызванных следующими причинами:
– недостатком в организации ходовой навигационной вахты и штурманской службы на судах;

Таблица 2

Наиболее характерные аварии на море с 2011 по 2021 г.

Дата	Объект на шельфе	Район и описание аварии	Число пострадавших	Причины аварии	Последствия для объекта
18 декабря 2011 г.	Буровая платформа «Кольская» ОАО»Арктикморнефтегазразведка» (порт приписки Мурманск), 67 чел. на борту	Под проводкой ледокола «Магадан» от западного побережья Камчатки на о. Сахалин в штормовых условиях буровая платформа перевернулась в Охотском море в 200 км от берега о.Сахалин. На буровой платформе волны выбили иллюминаторы, спасательные шлюпки смыло, внутрь платформы стала поступать вода. Снять с борта платформы экипаж с использованием вертолетов (вылетели из поселка Ноглики на севере о.Сахалин) не удалось. Буровая платформа перевернулась до прибытия вертолетов, и люди не успели пересесть на КСС.	14 чел. были спасены. Тела 4 чел. спасатели нашли без признаков жизни. Остальные пропали без вести	Принятие судовладельцем решения на буксировку буровой установки в период действующего сезонного запрета на буксировку (по данным следствия). Нарушение требований документов, определяющих порядок и объем подготовки буровой платформы «Кольская» к перегону в зимнее время в зимней сезонной зоне Неудовлетворительное обеспечение безопасности морской буксировки буровой со стороны руководства компании-судовладельца.	Перевернулась и затонула
27 января 2013 г.	Рыболовецкое судно (краболов) «Шанс-101» (порт приписки г. Находка)	Перевернулось в Японском море на 50 км восточнее п. Светлая Приморского края. Капитан судна решил совершить поворот на обратный курс через левый борт. При маневре краболов стал правым бортом (лагом) к волне.	Погибло 15 членов экипажа	Неудовлетворительно организован контроль эксплуатации судна «в части исполнения требований безопасности мореплавания» судовладельцем ЗАО «РК Восток-1». Непосредственной причиной катастрофического развития событий стало внезапное самопроизвольное открытие двери рыбообрабатывающего цеха на правом борту.	Судно перевернулось
17 декабря 2014 г.	Рыболовная шхуна, принадлежащая ООО «Сарган»	В заливе Измены (о. Кунашир на Сахалине) затонула рыболовная шхуна, принадлежащая ООО «Сарган». На борту находилось восемь человек, семь человек были подняты из воды на борт мимо проходившего судна «Ивае Мару-81».	Один человек пропал без вести		Шхуна затонула
2 апреля 2015 г.	Большой морозильный траулер «Дальний Восток»	Большой морозильный траулер «Дальний Восток» затонул в акватории Охотского моря в 300 км от Магадана. На борту судна, по предварительным данным, находились 132 чел. В то же время официально на борту должно было находиться лишь 62 чел. – на это количество людей и были рассчитаны спасательные средства. Из 132 чел. 119 подняты из воды, в том числе 56 погибших. Трагедия в Охотском море развивалась стремительно, судно ушло под воду за 15 минут. Моряки даже не успели подать сигнал бедствия. Неизвестной остается судьба 13 рыбаков. Капитан и старший помощник погибли.	56 человек погибли, 13 человек пропали без вести	Основными причинами аварии послужили: – уменьшение остойчивости траулера из-за внесения изменений в его конструкцию,: – перегрузка траулера уловом (на момент крушения в трюмах было 1400 т рыбы). Большое количество жертв связано с превышением допустимого числа людей на борту и отсутствием достаточного количества спасательных средств. Изменение конструкции судна состояло в удалении элементов, влияющих на его мореходные качества. Это произошло во время переоборудования траулера с целью повышения его производительности по переработке рыбы. В числе основных причин происшествия, рассматриваемых следствием: нарушения правил безопасности эксплуатации и управления судна со стороны судовладельца и штурманского состава, неудовлетворительное техническое состояние судна	Затонул
8 октября 2015 г.	Рыболовецкое судно «РСЮ 98–33»	Крушение в Южно-Курильском проливе произошло в условиях штормовой погоды, при этом судно не подавало сигнал бедствия.	На борту находилось три человека, судьба которых неизвестна	Нарушение правил безопасности	Перевернулось
12 ноября 2016 г.	Плавучий кран «АСПТР-1» владелец – Морская спасательная служба Росморречфлота	Плавучий кран АСПТР-1 затонул в Черном море на траверзе Ялты в 3,2 мили от берега на глубине 78 м. На борту находился экипаж из восьми человек. Судно в условиях шторма дало течь, которую экипаж пытался заделать самостоятельно более часа.	Спасено пять членов экипажа, три человека числятся пропавшими без вести	Поступление больших масс воды во внутренние помещения СПК «АСПТР-1» и потеря остойчивости. Необеспечение судовладельцем безопасности СПК «АСПТР-1» и экипажа. Невыполнение судовладельцем требований безопасности эксплуатации плавучего крана с учетом ранее произведенного ремонта после посадки крана на мель. Буксировка СПК «АСПТР-1» с поднятой в рабочем положении стрелой, с затопленными отсеками и повреждениями, не обеспечивающими (угрожающими) его живучесть и безопасность экипажу, находящемуся на борту. Принятие судовладельцем решения на буксировку без проведения внеочередного освидетельствования СПК «АСПТР-1» Российским Речным Регистром с целью определения условий сохранения класса судна и для получения разрешения на разовый переход к месту ремонта, после полученных повреждений, без устранения которых не обеспечивалась безопасность плавания СПК «АСПТР-1».	Затонул

Таблица 2 (Продолжение)

Наиболее характерные аварии на море с 2011 по 2021 г.

Дата	Объект на шельфе	Район и описание аварии	Число пострадавших	Причины аварии	Последствия для объекта
26 октября 2017 г.	Вертолет МИ-8 АМТ, принадлежавший авиакомпании «Конверсавиа» и зафрахтованный компанией «Арктикуголь»	Падение вертолета МИ-8 АМТ в море в районе архипелага Шпицберген при возвращении в Баренцбург после выполнения плановой серии гидрологических наблюдений. На борту находились восемь человек (пять членов экипажа и трое сотрудников ААНИИ). В результате совместных поисков силами спасания Норвегии и России вертолет был обнаружен на глубине 209 м в 2,2 км к востоку от мыса Хееродден. На расстоянии 130 м от вертолета было обнаружено тело только одного человека из восьми, находившихся на борту вертолета.	Восемь человек погибло	Причиной катастрофы явилось выполнение экипажем захода на посадку в условиях видимости значительно ниже установленных минимумов. Вследствие этого была потеряна визуальная ориентировка и произошло столкновение вертолета с водной поверхностью моря.	Падение в море
24 января 2018 г.	Рыболовный морозильный сейнер «Восток»	В нейтральных водах Японского моря, на 145 километров южнее порта Владивосток затонул рыболовный морозильный сейнер «Восток». Траулер был построен в 1985 г., его владельцем является сахалинское ООО «ДВ-флот».	Погибли все 20 членов экипажа.	Нарушение правил судовождения, техническая неисправность судна и погодные условия.	Затонул
19 января 2019 г.	Два самолета Су-34	Экипажи двух коснувшихся друг друга в воздухе бомбардировщиков Су-34 в ходе тренировочного полета над Японским морем в 35 км. от берега катапультировались (всего четыре человека) и опустились в ледяную воду Татарского проливе. Вскоре там был запеленгован сигнал аварийного радиобуя. В поисковой операции принимали участие пять судов: рыболовецкие «Электрон», «Неон» и др. Ветер в районе поисков – северо-западный 8 м/с, высота волны – 1,5 м, температура около 10 град. ниже нуля, видимость составляла 8 миль.	Спасен только один пилот.	Плохая видимость в районе отработки самолетами маневрирования со сближением. «Человеческий фактор»: экипажи плохо следили за приборами, которые позволяют контролировать воздушную обстановку. Должным образом не сработал командный пункт, который был обязан подсказать экипажам их положение в воздушном пространстве при сближении самолетов.	Столкнувшиеся самолеты упали в море
28 декабря 2020 г.	Рыболовецкое судно «Онега»	В Баренцевом море затонуло рыболовецкое судно «Онега». Спастись удалось только двум из 19 членов экипажа, вследствие того что они были одеты в гидротермокостюмы и находились в ледяной воде непродолжительное время. В 6.20, по официальным данным регионального главка МЧС по Мурманской области, траулер затонул, а в 6.30 людей вытащил из воды подошедший к месту крушения траулер «Войково».	17 чел.	Обледенение и «непрофессиональные действия» капитана «Онеги».	Затонуло
3 сентября 2020 г.	СПК «ЧЕРНОМОРЕЦ-34» (судовладелец Славянский СРЗ)	В Японском море СПК «ЧЕРНОМОРЕЦ-34» штормом выбросило на берег Уссурийского залива, бухта Теляковского. Машинное отделение затоплено, плавкран обесточен. На борту СПК находился экипаж в количестве девяти человек	Погибли два члена экипажа (тела найдены на берегу бухты Теляковского и бухты Муравьиной).	Неблагоприятные метеорологические условия. Нарушение правил безопасности движения и эксплуатации морского транспорта.	Затонуло
24 октября 2020 г.	Танкер «ГЕНЕРАЛ АЗИ АСЛАНОВ» (судовладелец ООО «ПАЛМАЛИ», г. Ростов-на-Дону)	В Керченском проливе Азовского моря на танкере «ГЕНЕРАЛ АЗИ АСЛАНОВ» при вентиляции второго грузового танка произошел взрыв паров нефтепродуктов, три члена экипажа были выброшены за борт и пропали без вести.	Пропали без вести 3 члена экипажа.	Детонация топливных паров в первом и втором грузовом танке и взрыв. Нарушение требований пожарной безопасности.	Судно получило значительные повреждения палубного настила
17 января 2021 г.	Сухогруз «Арвин»	В Черном море, у побережья Турции, затонул российский сухогруз «Арвин», на борту которого находилось 15 членов экипажа. Четыре члена экипажа погибли, трое пропали без вести, шестеро спасены.	9 чел.	Сильный шторм	Затонул

– несоблюдением общепринятых приемов и способов управления судном;
– отсутствием учета гидрометеорологических особенностей района плавания и стоянки судов.

2. На 31% уменьшилось количество технических аварий (повреждение главного двигателя, винторулевого комплекса; повреждение корпуса, взрывы и пожары), вызванных следующими причинами:
– несоблюдением Правил технической эксплуатации морских судов и судовых технических средств и конструкций и Правил пожарной безопасности и т. д.;
– усталостными повреждениями (разрушениями) материалов, связанными с воздействием переменных напряжений в результате длительной интенсивной эксплуатации.

3. Увеличилось число аварий, повлекших за собой гибель людей (на 45%) и получение тяжких телесных повреждений (на 33%) вследствие несоблюдения Правил техники безопасности при выполнении морских операций (швартовка, пересадка персонала на судна/с судна, обслуживание механизмов на судах и т. п.).

Как показывает анализ аварий судов на море, причина гибели людей на море заключается в совокупном влиянии целого ряда факторов на возникновение и развитие аварии. Известно, что эффективность спасательной операции обратно пропорциональна времени прибытия спасателей к месту аварии судна. Однако оперативное и своевременное спасание людей силами аварийно-спасательных формирований (АСФ) не всегда представляется возможным как из-за удаленности мест дислокации морских АСФ от возможных мест возникновения аварий морских объектов, так и несвоевременного оповещения об аварии.

Кроме того, действия АСФ усложняют следующие факторы:
– неблагоприятные гидрометеоусловия в районе аварии судна (волнение, ветер, ледовая обстановка и др.);
– необходимость проведения поисковых действий в условиях ограниченной видимости (ночью, в тумане и др.);
– низкая температура воды и воздуха, существенно ограничивающие время возможного существования людей, терпящих бедствие на море.

Положение дел осложняет и то, что до настоящего времени не определен согласно ст. 84 Морской доктрины (принята в 2015 г.) федеральный орган исполнительной власти (ФОИВ), наделенный соответствующими полномочиями по руководству совершенствованием существующей федеральной системы поиска и спасания на море (далее – ФСПС) и решением совместно с компетентными и авторитетными организациями комплексных проблем функционирования ведомственных аварийно-спасательных служб (АСС) и морского спасания в целом, в том числе:
– формированием основ государственной политики в области поисково-спасательного обеспечения морской деятельности, рассматриваемого в качестве системы управления рисками ущерба от морских аварий, включая единую техническую политику в развитии сил и средств поиска и спасания на море;
– разработкой отвечающей цели морского спасания единой принципиально новой системы стандартизации спасательных средств и разнообразных средств оказания помощи аварийным объектам, в основу которой должен быть положен признак функциональности каждого такого средства в реальных условиях морских спасательных операций различного характера, масштаба и сложности;
– нормативно-правовым регулированием в области поиска и спасания на море, внедрением в практику морского спасания апробированных технологий получения (добывания) необходимой информации, ее обработки в целях принятия правильных управленческих решений, в том числе, и при объективном недостатке информации, необходимой для обоснования решений, т. е. в условиях неопределенности;
– сбалансированным развитием сил и средств поисково-спасательного обеспечения (ПСО), включая авиацию на основе единой технической политики;
– созданием межведомственной системы информационного обеспечения и экспертной поддержки морских спасательных операций;
– унификацией ведомственных систем спасательной подготовки специалистов.

Показанный в табл. 1 почти двукратный рост морских аварий за последние десять лет, по-видимому, отражает стойкую объективную тенденцию и является достаточным основанием для *безотлагательной разработки и реализации действенных мер* по вышеизложенным основным направлениям. Следует отметить, что эффективная работа по отдельным важнейшим перечисленным направлениям без участия РС вряд ли выполнима.

Опыт проведения спасательных операций свидетельствует о том, что, как правило, гибель части экипажа и персонала морских объектов происходят до прибытия сил ПСО. Немалая роль в причинах гибели людей, терпящих бедствие на море, принадлежит таким факторам, как недостаточная эффективность судовых спасательных средств, недостаточный уровень подготовки экипажей к их использованию, а также в некоторых случаях отсутствие на судне достаточного количества индивидуальных и коллективных средств спасания (ИСС и КСС) экипажа.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОИСКА ЛЮДЕЙ В ИСС И КСС

Из вышеизложенного следует, что одним из приоритетов в развитии поисково-спасательной техники должно быть создание эффективных индивидуальных и коллективных средств самостоятельного спасения, размещаемых на морских судах. Надо заметить, что создавать и развивать эффективные средства поиска и спасания, оснащать ими АСС также требует и «Морская доктрина Российской Федерации» [2].

Известно, что в качестве ИСС на судах используются спасательные круги, жилеты, гидротермокостюмы (ГТК), а в качестве КСС применяются спасательные плоты, спасательные и дежурные шлюпки различных типов. При возникновении аварии на судне и при благоприятных гидрометеорологических условиях, как правило, капитан судна подает сигнал бедствия, экипаж должен надеть ИСС, спустить на воду КСС, занять в них свои места по расписанию. Несмотря на оснащение всех судов аварийными радиобуями и другим радиооборудованием, при подаче сигнала о бедствии судна имеют место случаи их несрабатывания. Очевидно, что чем меньше время поиска людей, терпящих бедствие на море в ИСС и КСС, тем выше вероятность их спасания. Именно поэтому для увеличения вероятности обнаружения людей, терпящих бедствие на море, спасательные средства оборудованы устройствами указания их местоположения для целей поиска и спасания.

Состав устройств указания местоположения ИСС и КСС для целей поиска и спасания определен Правилами РС (далее – Правила) [3–5], которые гармонизированы с требованиями Международного Кодекса по спасательным средствам (Кодекс ЛСА) [6] и Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 г. с поправками (СОЛАС –74) [7], а также определен в национальных стандартах [8, 9]. Для обозначения координат терпящих бедствие людей, находящихся в КСС – шлюпках или на плотах, используются пассивные и активные технические средства. К *пассивным средствам* могут быть отнесены световозвращающие полосы и маркировки, а также самовключающиеся сигнальные свето-

вые приборы – светильники, фонари, прожекторы. К *активным визуальным сигнальным средствам* относятся парашютные ракеты, фальшфейеры, плавучие дымовые шашки, свистки и звуковые сигнальные средства, сигнальные зеркала. Согласно Правилам [3–5], на КСС должны быть радиолокационный ответчик, передатчик автоматической идентификационной системы для целей поиска и спасания (передатчик АИС), радиолокационный отражатель, УКВ-аппаратура двусторонней радиотелефонной связи, аварийный радиобуй, пиротехнические сигнальные средства и др. На ИСС должны быть звуковые сигнальные средства (свисток), поисковые электроогни и световозвращающие ленты. На защитных костюмах (предназначен для использования членами экипажа судна, расписанными на дежурные шлюпки или морские эвакуационные системы) предусмотрен карман для переносной УКВ-радиотелефонной станции. Понятно, что условия пребывания человека на КСС предпочтительнее, чем условия его пребывания непосредственно в воде в ИСС. Оснащенность КСС устройствами указания их местоположения для целей поиска и спасания позволяет их обнаруживать гораздо быстрее, чем ИСС.

Модель применения судовых средств спасания предусматривает как раздельное, так и совместное использование ИСС и КСС. На практике же, при неблагоприятных гидрометеорологических условиях и в условиях динамичного развития аварии обстоятельства складываются таким образом, что экипаж аварийного судна не всегда успевает воспользоваться КСС. При силе ветра выше 4 баллов становятся фактически невозможными спуск на воду спасательных шлюпок (исключая спасательные шлюпки свободного падения) и подъем персонала из спасательных шлюпок на борт спасательного судна. Полеты вертолетов приостанавливаются при силе ветра выше 5 баллов и в условиях плохой видимости (туман). Такое происходит довольно часто.

Существующие зарубежные и отечественные модели ГТК (см.рис. 2) согласно Кодексу ЛСА [6] гарантируют выживание человека в ГТК, изготовленным из материала, обладающего теплоизоляционными свойствами так, чтобы внутренняя температура тела человека не падала более чем на 2 °С после пребывания его в течение 6 часов в циркулирующей воде с температурой от 0 до 2 °С при отсутствии волнения.

Требования к температуре окружающего воздуха при этом не устанавливаются. При наличии волнения и отрицательной температуре воздуха время выживания человека сокращается в 2–3 раза. Время же возможного пребывания человека в холодной воде только в спасательном жилете исчисляется минутами. Кроме того, в штормовых условиях дистанция обнаружения поискового огня ИСС составляет не более 1 мили. В экстремальных ситуациях обнаружить в ночное время в море малоразмерный объект (каким является человек) чрезвычайно сложно. При шторме поисковый огонь ИСС с силой света 0,75 кандел «во всех направлениях верхней полусферы» практически неразличим. Возможность услышать звук свистка, маскируемый штормовым шумом моря крайне низка, а визуально обнаружить плавающего человека на расстоянии нескольких сотен метров, даже в условиях слабого волнения, довольно трудно. Не во всех районах плавания судов возможно применение вертолетов.

Рис. 2. ***Спасательный гидротермокостюм***

Таким образом, имеет место несовершенство существующих ИСС в части их оснащения более эффективными устройствами указания местоположения для сокращения времени обнаружения терпящих бедствие людей.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ОБОЗНАЧЕНИЯ ИСС

Вместе с тем Правила РС [3–5] предусматривают возможность применения спасательных средств или устройств нового типа, обладающих новыми характеристиками, которые не полностью охвачены требованиями Правил, но обеспечивающие равный или более высокий уровень безопасности. К таким устройствам целесообразно отнести персональные аварийные радиомаяки ПАРМ-406, ПАРМ-406М и ПРМ-406Н, разработанные НИИ космического приборостроения в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «ГЛОНАСС» в начале 2000-х гг. и предназначенные для определения и передачи координат места терпящих бедствие людей и прибытия к месту аварии спасательных судов (рис. 3).

Рис. 3. ***Персональные аварийные радиомаяки ПАРМ-406, ПАРМ-406М и ПАРМ-406СП***

Основные характеристики персонального аварийного радиомаяка ПАРМ-406СП

Номинальная мощность излучения на частоте 406 МГц, Вт 5,0
Диапазон рабочих температур .. От – 40 °С до + 55 °С
Время непрерывной работы..... Не менее 48 часов на частоте 406 МГц
Габариты, мм..... 41×75×121
Вес, г..... 270 (с блоком питания)

В рамках ФЦП «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 годы» АО ЦНИИ «Курс» разработано персональное аварийное устройство автоматической идентификационной системы «человек за бортом» АИС-ЧЗБ (рис. 4)

Рис. 4. ***Устройство АИС-ЧЗБ***

Персональное аварийное устройство автоматической идентификационной системы (УАИС) «человек за бортом» (АИС-ЧЗБ) предназначено для автоматического определения местоположения человека, упавшего за борт и оповещения судна и других объектов (судов), находящихся в районе инцидента, путем передачи сообщений в автоматической идентификационной системе с последующим приемом и отображением информации на судовом транспондере АИС с целью оперативного принятия мер по поиску и спасанию человека на воде.Ниже приведены характеристики АИС-ЧЗБ.

Характеристики АИС-ЧЗБ

Диапазон частот, МГц ..... 162 ± 0,025
Излучаемая мощность, Вт 1,3
Скорость передачи данных, бит/с 9600
Длительность работы в активном режиме, ч 30
Напряжение питания, В 7,2
Тип элементов питания..... Литиевые
Диапазон рабочих температур, °С ..... –20 ÷ +55
Диапазон температуры хранения, °С ..... –30 ÷ +70

Размер, мм ..... 150×60×30
Вес, г..... 150
Срок службы изделия (батареи), лет ...10 (5)
Вид дополнительной сигнализации
..... Визуальная, звуковая
Наличие режима самоконтроля ..... Есть
Радиус действия, мили 4
Активирование.....Ручное
Наличие встроенного.....
приемника ГНСС ..... Есть
Точность позиционирования, м 3
Используемая ГНСС
..... ГЛОНАСС, GPS
Обновление позиции, мин 1

В состав АИС-ЧЗБ входят:

- передатчик сигналов (162 ± 0,025) МГц;
- передающая антенна сигналов (162 ± 0,025) МГц;
- навигационный приемник космических навигационных систем (КНС) ГЛОНАСС/GPS/Galileo;
- активная антенна навигационной аппаратуры;
- индикатор;
- активатор;
- автономный источник питания.

Имеются также разработки персональных радиомаяков на базе низкоорбитальной системы подвижной спутниковой связи «Гонец», позволяющих определять местоположение человека, терпящего бедствие с точностью до 20 м. В отличие от зарубежных аналогов отечественные персональные радиомаяки рассчитаны на более широкий диапазон температур.

ПРОБЛЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ АВАРИЙНЫХ КОЛЛЕКТИВНЫХ СПАСАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ В АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЯХ И ИХ РЕШЕНИЯ

Необходимо отметить, что действующая международная нормативная документация, посвященная обеспечению безопасности человека на море, ориентирована на открытые, без льда, акватории. Для морской деятельности в арктических условиях требуются дополнительные разработки технических средств обозначения аварийных средств в условиях плохой видимости, полярной ночи, сильного ветра и низкой надежности УКВ связи. При необходимости безусловного выполнения действующих российских и международных нормативных требований следует разрабатывать специальные арктические технологии надежного обозначения места расположения аварийного коллективного спасательного средства.

Одним из возможных технических решений является использование импульсных (взрывных) источников звуковых сигналов – подводных сигнальных шумовых гранат. В услувиях несплошного льда при активировании сигнальной шумовой гранаты на глубине порядка 5–10 м может быть создан подводный акустический импульс, звуковое давление от которого будет распространяться на большие расстояния. Процесс локализации такого источника гидроакустическими средствами спасательных судов независит от гидрометеорологических условий и условий видимости. Можно полагать, что при нахождении аварийного коллективного спасательного средства на сплошном ледовом поле, его вмерзании в лед и дрейфе использование сигнальной шумовой гранаты на ледовой поверхности также может обеспечить его более надежную локализацию.

В качестве технических прототипов подводных сигнальных шумовых гранат могут быть использованы спецсредства вооруженных сил и правоохранительных органов. Действующие иностранные образцы таких спецсредств создают импульс звукового давления в воздухе порядка 170–180 дБ, имея при этом снаряженную массу 230–250 г. Некоторые отечественные образцы светозвуковых гранат также могут быть использованы в качестве прототипов подводных сигнальных шумовых гранат. Так, одноэлементная пожаробезопасная ручная светозвуковая граната «Факел-С» массой 100 г создает на расстоянии 10 м звуковое давление в воздухе не менее 145 дБ. Светозвуковая граната «Заря-2» при массе 145 г создает звуковой импульс давлением 180 дБ на расстоянии 10 м.

Такой способ локализации аварийного коллективного спасательного средства имеет свои принципиально значимые преимущества при использовании в качестве специального сигнального средства. Однако для определения практически значимых технических параметров таких сигнальных средств необходимо выполнение опытно-конструкторских работ, изготовление и испытания опытных образцов.

ВЫВОДЫ

В заключение следует констатировать, что существует объективная необходимость, подкрепленная опытом спасания людей в условиях многовариантного развития морских аварий судов, оснащения ИСС более совершенными средствами определения их местоположения для целей поиска и спасания, как и повышения вероятности спасания человека в ИСС с персональным радиомаяком и, как следствие, обеспечения более высокого уровня безопасности. Это очевидно. В то же время применение указанных выше и других разработанных персональных радиомаяков в ИСС не должно влиять на выполнение других требований Правил РС к ИСС. Поэтому с целью повышения вероятности спасания людей, терпящих бедствие на море и оказавшихся в ИСС вне КСС, целесообразно установленным порядком включить в Правила по дооборудованию морских судов (ч. 2 «Спасательные средства», ч. 4 «Радиооборудование») требования об обязательном наличии на ИСС (спасательных жилетах и гидротермокостюмах) персональных радиомаяков (или устройств автоматической идентификационной системы) с учетом морских районов плавания судов. Отсутствие такого требования является основным сдерживающим фактором их широкого применения. В случае нахождения членов экипажа судна в ИСС с персональным радиомаяком на КСС вероятность их обнаружения только возрастет.

В Правилах целесообразно также определить порядок применения спасательных средств и устройств нового типа, обеспечивающих более высокий уровень безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Итоги деятельности МСКЦ и МСПЦ. [Электронный ресурс]: URL: https://smrcc.ru/statistika_po_poisku_i_spasaniyu_na_more.html (Дата обращения 17.07.2021).
2. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс]: URL: http://legalacts.ru/doc/morskaja-doktrina-rossiiskoi-federatsii-na-period-do/(Дата обращения 17.07.2021).
3. НД № 2–020101–127. Правила по оборудованию морских судов. – Ч. II: Спасательные средства. – СПб., 2020. [Электронный ресурс]: URL: http://docs.cntd.ru/document/1200131972 (Дата обращения 17.07.2021).
4. НД № 2–020101–127. Правила по оборудованию морских судов. Часть III. Сигнальные средства. – СПб., 2020. [Электронный ресурс]: URL: http://docs.cntd.ru/document/1200131972 (Дата обращения 17.07.2021).
5. НД № 2–020101–127. Правила по оборудованию морских судов. Часть IV. Радиооборудование. – СПб., 2020. [Электронный ресурс]: URL: http://docs.cntd.ru/document/1200131972 (Дата обращения 17.07.2021).
6. Международный Кодекс по спасательным средствам (Кодекс ЛСА). [Электронный ресурс]: URL: http://docs.cntd.ru/document/499032094/(Дата обращения 17.07.2021).
7. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74) 1974 года. [Электронный ресурс]: URL: http://docs.cntd.ru/document/901765675 (Дата обращения 21.07.2021).
8. ГОСТ Р 54596–2011. Индивидуальные средства спасения экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Технические требования. – М., 2011. – 18 с.
9. ГОСТ Р 52451–2009. Коллективные средства спасения экипажей инженерных сооружений, эксплуатируемых на акваториях. Технические требования. – М., 2009. – 9 с. ■

РАСЧЕТНЫЕ МОДЕЛИ КРЕПЛЕНИЯ ПАКЕТИРОВАННЫХ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НА ОТКРЫТОЙ ПАЛУБЕ СУДОВ

Г. А. Пелехов, *аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ», г. Нижний Новгород, контакт. тел. +7 (902) 504 0508*

Перевозка грузов с помощью водного транспорта – один из старейших способов их транспортировки в тех условиях, когда использование иных видов транспорта экономически нецелесообразно или технически невозможно.

Обеспечение эксплуатационной безопасности судов при перевозке пакетированных пиломатериалов – очень важная задача. Статистика количества аварий в результате смещения груза не отличается положительной тенденцией; даже при использовании современных средств и способов крепления грузов на судах требуется поиск новых решений, предотвращающих чрезвычайные ситуации, одним из которых являются анализ и разработка новых способов крепления пакетированных пиломатериалов на борту судна [1].

Объектом расчета нормативов крепления пакетированных материалов, а также методических рекомендаций, которые применяются для этого, являются непиленые бревна или пакеты, перевозимые на открытой палубе. То есть груз пиломатериалов рассматривается как навалочный со справочными углами естественного откоса для каждого типа материалов и расчетными коэффициентами трения [2, 3]. Следовательно, согласно современным рекомендациям, расчет выполняется для идеализированной модели, которая зачастую серьезно расходится с практической реализацией. Данное обстоятельство позволяет оценить актуальность развития расчетных схем крепления пакетированных грузов при транспортировке на судах, поскольку от степени приближенности результатов расчета и его детальности зависят сохранность груза, общая безопасность судна и экипажа.

В настоящее время при составлении схемы крепления груза в недостаточной степени учитывается влияние внешних факторов, а также пустоты внутри штабеля, так как последний представляет собой дискретную систему, элементы которой относительно друг друга могут перемещаться в нескольких направлениях [4], что создает неустойчивую структуру, способную прийти в движение от воздействия любого фактора. Это изменение технически трудно реализовать при моделировании и учесть при прогнозировании [5].

Аналитическое исследование научных публикаций и работ, отчетов о научных исследованиях, патентных предложений позволило сделать вывод об отсутствии эффективной и безопасной схемы крепления грузов, поскольку результатом применения традиционных схем является дискретная, трудно прогнозируемая система, которая требует значительных затрат ресурсов для создания, сохранения и постоянного наблюдения. Данное свойство указывает на необходимость развития схемы крепления грузов на борту судна.

При организации транспортировки необходимо учитывать, что водный транспорт составляет с грузом динамическую систему, которая может как изменить свое движение в результате импульса, так и прийти в стабильное состояние, т. е. в состояние стабилизации крена.

На палубные грузы одновременно оказывают воздействие сразу несколько источников возникновения импульсов передачи энергии: инерционное движение, возникающее от движения судна, включающее торможение и набор скорости; волнение и ветровое воздействие. Совокупность этих сил является внешней причиной разрушения штабелей пакетированных грузов, что подтверждается данными, приведенными в литературных источниках. В числе этих сил:

– сложные погодные условия на пути следования судна;
– отсутствие учета какой-либо из внешних сил, оказывающей воздействие на груз [1].

При значительном снижении силы трения в штабеле возникает крутящий момент, составляющими которого являются сила ветра F_v, силы инерции $F_{\text{ин судна}}$, возникающие от движения судна, и силы инерции от волнения масс воды $F_{\text{ин м воды}}$. Возникновение крутящего момента относится не только к системам штабеля, но и к самому судну, приводя к тому, что судно кренится, но в штабеле крутящий момент возникает как отдельно для каждого элемента, так и для всего штабеля в совокупности [6]:

$$M_{\text{кр}} = 0{,}001p \cdot A_v \cdot Z_v, \text{ кНм}, \quad (1)$$

где Z_v – плечо парусности; A_v – площадь парусности судна; p – условное давление ветра.

В условиях качки и ослабевающих найтовов штабель начинает раскачиваться и смещаться в сторону борта, который находится на пониженной отметке. Постепенно амплитуда колебательных движений будет увеличиваться, что приведет к увеличению крутящего момента по модулю крутящего момента $\sigma M_{\text{кр}}$ и, как следствие, крутящего момента судна, а значит, и крена всей системы. Моделирование данной физической системы в численных величинах серьезно осложняется, поскольку степень перемещения штабеля, а, следовательно, и колебаний каждого его элемента, различна и определяется положением последнего в штабеле относительно центра всей системы и каждого ряда элементов в отдельности [7]. Обозначим единичное расстояние, который проходит элемент, как G_1. Это расстояние соответствует перемещению внешнего элемента штабеля в сторону борта с пониженной отметкой. Данное обозначение действительно для расстояния перемещения единичного пакета относительно других пакетов. Тогда перемещение следующих элементов в штабеле или следующих пакетов обозначим как G_1+G_2. Тогда расстояние, которые проходят пакеты в штабеле,

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} G_i, \quad (2)$$

где n – число элементов в одном ярусе; j – общее число ярусов.

Данная зависимость действительна как для моделирования штабеля пиломатериалов, состоящего из нескольких пакетов, так и для рассмотрения единичного пакета, что имеет высокую ценность для математического моделирования сложных динамических систем, поскольку параметрические расчеты элементарных единиц – это основной источник ошибок, приводящих к неправильным расчетам всей системы [8].

Следующим параметром, который обязателен к рассмотрению, является сила инерции по направлению и по модулю, но необходимо сразу задать условие, что сила инерции действует только в двух плоскостях, т. е. ограничивается в пределах двух координатных плоскостей *OZ* и *OY*. Определяющими для возникновения этой силы, ее величины и векторных параметров являются ускорение свободного падения и ускорение, возникающее от раскачивания судна:

$$\vec{F} = m\left(\vec{g} + \vec{a}\right). \quad (3)$$

Сила инерции приводит к тому, что центр тяжести пакета пиломатериалов перемещается по дуге, центром которой является ось вращения судна.

Изучив систему сил, действующих на судно и приводящих к возникновению крутящего момента, приходим к выводу, что крутящий момент – это результирующая от совместного действия нескольких сил и импульсов, раскачивающих груз относительно оси раскачивания судна.

Исходя из данного свойства, можно рассчитать величину момента количества движений на примере одного пакета по следующей формуле:

$$L = m \cdot v \cdot \rho, \quad (4)$$

где m – масса пакета пиломатериалов; v – линейная скорость пакета с грузом; ρ – расстояние от центра тяжести пакета пиломатериалов до оси вращения.

Исходя из математических зависимостей, применяемых для описания этого физического явления, выразим линейную скорость рассматриваемой единицы:

$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}, \quad (5)$$

где v_0 – начальная скорость пакета ($v_0 = 0$, так как в начальный момент времени пакет неподвижен); v – конечная скорость пакета (в момент столкновения с другим пакетом); a – ускорение.

Используя выражение (5), выразим момент количества движения пакета через прямолинейную скорость:

$$L = m \cdot v \cdot \sqrt{2aS}. \quad (6)$$

Ускорение из формулы (6) можно представить результатом проекций ускорения свободного падения, ускорения от качки по данным плоскостям. Это представления подтверждается теорией качки [9]:

$$\begin{cases} a_y = g_y + a_y^\theta + a_y^\xi; \\ a_z = g_z + a_z^\theta + a_z^\xi. \end{cases} \quad (7)$$

Состояние системы относительно неподвижного центра – оси вращения – изменяется ежесекундно, поэтому необходимо выразить проекцию ускорения g в зависимости от положения центра тяжести пакета относительно угла наклона судна:

$$\begin{cases} g_y = g \cdot \sin\theta; \\ g_z = g \cdot \cos\theta. \end{cases} \quad (8)$$

Ускорение от бортовой качки также является результирующей от проекций параллельной поперечной составляющей данной величины. Расчет параметра ускорения от бортовой качки может быть выполнен путем выражения величины через касательную и центростремительную составляющую ускорения:

$$\begin{cases} a_y^\theta = a_\tau \cos\alpha - a_\varphi \sin\alpha = \alpha_\tau \frac{l_{гр}}{\rho} - \alpha_\varphi \frac{y_{гр}}{\rho}; \\ a_z^\theta = a_\tau \cos\alpha - a_\varphi \sin\alpha = \alpha_\tau \frac{y_{гр}}{\rho} - \alpha_\varphi \frac{l_{гр}}{\rho}. \end{cases} \quad (9)$$

Переменные, входящие в состав уравнения, можно рассчитать следующим образом:

$$l_{гр} = z_{гр} - z_g; \ \sin\alpha = \frac{y_{гр}}{\rho}; \ \rho = \sqrt{y_{гр}^2 + l_{гр}^2}; \ \cos\alpha = \frac{l_{гр}}{\rho}. \quad (10)$$

Для определения касательных и центростремительных ускорений используем следующие формулы:

$$a_\varphi = \frac{\overline{v}^2}{\rho} = \frac{\left(\rho\dot{\theta}\right)^2}{\rho} = \rho \cdot \dot{\theta}^2 = \rho\omega^2\theta_0^0 \cos^2\left(\omega t + \varepsilon_0\right); \quad (11)$$
$$a_\varphi = \rho\ddot{\theta} = -\omega^2\theta_0^0 \sin\left(\omega t + \varepsilon_0\right).$$

Приведенные в формулах (9) – (11) и далее выражения применяются для расчета штабеля груза как единой системы, находящейся в состоянии динамического движения, что приводит к исключению ряда геометрических параметров методом округления или линеаризации [5]. Тем не менее, данные выражения можно использовать и для расчета отдельных элементов (пакетов), что существенно повысит качество получаемых результатов.

Помимо касательных и центростремительных ускорений на систему воздействуют также ускорения, возникающие от бортовой и вертикальной качки, которые необходимо принимать во внимание при расчете состояний системы.

Для расчета проекций ускорений от бортовой качки целесообразно использовать следующие выражения [10]:

$$a_y^\theta = -\omega^2\theta_0\rho\sin\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right)\frac{l_{гр}}{\rho} - \rho\omega^2\theta_0^2\cos^2\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right)\frac{y_{гр}}{\rho};$$
$$a_z^\theta = -\omega^2\theta_0\rho\sin\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right)\frac{y_{гр}}{\rho} - \rho\omega^2\theta_0^2\cos^2\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right)\frac{l_{гр}}{\rho}. \quad (12)$$

Проекции ускорений от килевой качки находят по формулам

$$a_y^\xi = \ddot{\xi}\sin\theta = -\omega^2\xi_0\cos\left(\omega t + \varepsilon_\xi\right)\sin\theta;$$
$$a_z^\xi = \ddot{\xi}\cos\theta = -\omega^2\xi_o\cos\left(\omega t + \varepsilon_\xi\right)\cos\theta. \quad (13)$$

Воспользовавшись выражениями (11) – (13), получаем результирующие выражения для проекций составляющих ускорений:

$$a_y = g_y + a_y^\theta + a_y^\xi = g \cdot \sin\theta - \omega^2\theta_0\rho\frac{l_{гр}}{\rho}\sin\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right) -$$
$$-\rho\omega^2\theta_0^2\cos^2\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right)\frac{y_{гр}}{\rho} - \frac{1}{2} - \omega^2\varepsilon_0\cos\left(\omega t + \varepsilon_\xi\right)\sin\theta. \quad (14)$$

$$a_z = g_z + a_z^\theta + a_z^\xi = g \cdot \cos\theta - \omega^2\theta_0\rho\frac{y_{гр}}{\rho}\sin\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right) -$$
$$-\rho\omega^2\theta_0^2\cos^2\left(\omega t + \varepsilon_\theta\right)\frac{l_{гр}}{\rho} - \omega^2{}_0\cos\left(\omega t + \varepsilon_\xi\right)\cos\theta. \quad (15)$$

Практическое применение данных математических выкладок весьма затруднительно по ряду причин, поэтому в большинстве случаев принимается упрощенная форма расчета: считается, что штабель передвигается только относительно горизонтальной плоскости (бортовая качка). Такое допущение также имеет негативные последствия для результатов расчета и оценки всей системы в целом, но когда штабель рассматривается как единая система, ограниченная креплениями, без принятия данного допущения проведение дальнейшего расчета невозможно. Здесь стоит акцентировать внимание на том, что чем больше элементов в динамической системе, тем сложнее провести ее моделирование, поскольку необходимо учитывать весь комплекс воздействий на каждый элемент, а затем и на систему в целом.

Таким образом, становится очевидно, что чем меньший элемент системы ограничен креплениями, тем более он прогнозируем и управляем, т. е. целесообразно разделить штабель на ярусы и рассмотреть возможность крепления каждого яруса отдельно.

Дальнейшие расчеты и математические выкладки приведены в качестве обоснования тезиса, что уменьшение геометрических размеров элемента крепления – переход от крепления всего штабеля к поярусному – позволит проводить более эффективные и точные расчеты.

Каждый пакет создает дополнительный крутящий момент, который является первой производной от момента количества движений от времени [10]:

$$\delta M_i = \frac{dL}{dt} = \frac{d\left[m\rho_i\sqrt{2Sa_y}\right]}{dt} = m\rho_i =$$
$$= \sqrt{2}\left[\frac{d\left(\sqrt{S}\right)}{dt}\sqrt{a_y} + \frac{d\left(\sqrt{a_y}\right)}{dt}\sqrt{S}\right]. \quad (16)$$

Продифференцируем слагаемые, стоящие в квадратных скобках:

$$\frac{d\left(\sqrt{S}\right)}{dt}\sqrt{a_y}=\frac{1}{2\sqrt{S}}\cdot\frac{dS}{dt}\cdot\sqrt{a_y}=$$
$$=\frac{1}{2\sqrt{S}}\cdot v_y\cdot\sqrt{a_y}=\frac{\sqrt{2a_yS}\cdot\sqrt{a_y}}{2\sqrt{S}}=\frac{a_y}{\sqrt{2}};\qquad(17)$$

$$\frac{d\left(\sqrt{a_y}\right)}{dt}\sqrt{S}=\frac{1}{2\sqrt{a_y}}\sqrt{S}\cdot\frac{da_y}{dt}.\qquad(18)$$

Подставим полученное выражение в (16), тогда

$$\delta M_i=m\rho_i=\left[g\cdot\sin\theta-\omega^2\theta_0\rho\frac{l_{\text{гр}}}{\rho}\sin\left(\omega t+\varepsilon_\theta\right)-\right.$$
$$-\rho\omega^2\theta_0^2\cos^2\left(\omega t+\varepsilon_\theta\right)\frac{y_{\text{гр}}}{\rho}-\omega^2{}_0\theta_0\cos\left(\omega t+\varepsilon_\xi\right)\sin\theta+$$
$$+\frac{1}{2}\left(g\cdot\cos\theta-\omega^3\theta_0\rho\frac{l_{\text{гр}}}{\rho}\cos\left(\omega t+\varepsilon_\theta\right)+\rho\omega^3\theta_0^2\sin^2\left(\omega t+\varepsilon_\theta\right)\frac{y_{\text{гр}}}{\rho}+\right.$$
$$+\omega^3\xi_0\theta_0\sin\left(\omega t+\varepsilon_\xi\right)\sin\theta-\omega^2\xi_0\theta_0\cos\left(\omega t+\varepsilon_\xi\right)\cos\theta\times\qquad(19)$$
$$\times\sqrt{\frac{2S}{g\cdot\sin\theta-\omega^2\theta_0\rho\frac{l_{\text{гр}}}{\rho}\sin\left(\omega t+\varepsilon_\theta\right)-\rho\omega^2\theta_0^2\cos^2\times}}\rightarrow$$
$$\left.\leftarrow\sqrt{\frac{2S}{\times\left(\omega t+\varepsilon_\theta\right)\frac{y_{\text{гр}}}{\rho}-\omega^2\xi_0\theta_0\cos\left(\omega t+\varepsilon_\xi\right)\sin\theta}}\right].$$

Данный алгоритм является способом математического моделирования физической динамической системы штабеля пиломатериалов. Очевидно, что этот способ представляет собой задачу повышенной сложности, поскольку штабель – это многоэлементная система, обладающая трудно прогнозируемыми свойствами. Рассмотрение каждого элемента в отдельности невозможно реализовать на практике, даже при учете универсальности модели. Невозможность моделирования системы на максимально близком к практическому состоянию уровне не позволит подобрать схему крепления штабеля, обладающей достаточной надежностью и удерживающей способностью. Соответственно для улучшения удерживающей способности схемы крепления штабеля необходимо проводить моделирование для поярусного крепления.

Подобный вывод можно сделать не только при моделировании динамического состояния штабеля, но и при расчетах условий равновесия этой динамической системы, проведение которых напрямую позволяет определить необходимую удерживающую способность схемы крепления штабеля.

При поярусном креплении в каждом ярусе происходит вращательное движение относительно центра тяжести и опорных элементов, импульс и момент которого напрямую зависит от степени неблагоприятности условий, тем не менее понижен вес яруса, как закрепленной единицы, не позволяет достичь высоких значений продольных сил, следовательно, сокращает опасность смещения пиломатериалов и потери устойчивости.

При более плотном креплении в ярусах расчет выполняют по упрощенной схеме с исключением части усилий и импульсов, наиболее важным можно назвать возможность пренебрежения переносным моментом. Данная величина характеризует перенос энергии вдоль горизонтальной оси, но в случае поярусного крепления данный элемент имеет малое значение по модулю.

Изменение всех направленных на ярус воздействий при отсутствии качки имеет линейный характер и изменяется относительно высоты элементов в ярусе, таким образом, опасность скольжения увеличивается прямо пропорционально высоте элемента. При поярусном креплении высота яруса остается минимальна и равна высоте одного пакета, высота ярусов в таком случае уже не является фактором повышенной опасности. Следовательно, штабель при поярусном креплении будет наиболее устойчивым. *Данный вывод является основополагающим, и учет его позволит улучшить удерживающую способность схемы крепления штабеля.*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Пелехов Г.А.* Анализ расследования аварийных случаев при перевозках лесных грузов морским .– Тр. 20-го Международ. науч.-промышл. форума «Великие реки – 2018». – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2018. – Вып. 7.
2. Правила безопасности морской перевозки лесных грузов. РД 31.11.21.01–97. – СПб., ЦНИИМФ, 1997.
3. Правила морской перевозки грузов, (с изменениями на 6 июля 2012 года) РД 31.11.21.16–2003. – СПб., ЦНИИМФ, 2003.
4. *Пелехов Г.А.* Анализ российских и международных требований к расчетам, по креплению палубного груза пакетированных пиломатериалов. // Морской вестник. — 2020. — № 1 (73). — С. 116–117.
5. *Морозов В. К., Рогачев Г. Н.* Моделирование информационных и динамических систем – М.: Академия, 2011.
6. *Аносов Н.М.* Условие обеспечения устойчивости палубного каравана пакетированных пиломатериалов. – Сб. докл. 60-й Международ. молодежной науч.-техн. конфер. «Молодежь. Наука. Инновации», 17–18 сентября 2012 г. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. – Т. 1. – С. 17–22.
7. *Маликова Т.Е., Шпак А.С.* Теоретическая модель смещающихся грузов с дискретной распорной структурой // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2013. — №1. — С. 142–145.
8. *Москаленко М.А., Маликова Т.Е.* Адаптация моделей теории катастроф для исследования остойчивости судов при смещении грузов.– Проблемы транспорта Дальнего Востока: Пленарные докл. 10-й юбилейной международ. науч.-практ конфер., 2–4 октября 2013 г. – Россия-Владивосток: ДВО РАТ, 2013. – С. 217–218.
9. *Ремез Ю.Б.* Качка корабля. – Л.: Судостроение, 1983. – 328 с.
10. *Аносов Н.М., Хоцкий М.И.* Влияние неплотной укладки палубного пакетированного груза на возникновение дополнительных кренящих моментов.– Сб. докл. 58-й Международ. молодежной науч.-технич. конфер.«Молодежь. Наука. Инновации», 24–25 ноября 2010 г. – В 2-х т. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2010. – С. 8–14. ■

ОБСЛЕДОВАНИЕ АКВАТОРИИ НЕСКОЛЬКИМИ АВТОНОМНЫМИ НЕОБИТАЕМЫМИ ПОДВОДНЫМИ АППАРАТАМИ, БАЗИРУЮЩИМИСЯ НА ОДНОМ ДОННОМ ПРИЧАЛЬНОМ УСТРОЙСТВЕ

В.Г. Данилова, *преподаватель СПбГМТУ,*
контакт. тел. +7 (931) 261 5158

В настоящее время существует ряд задач, выполняемых автономным необитаемым подводным аппаратом (АНПА), решение которых предполагает многократное повторение миссий в ограниченной акватории.

АНПА вначале использовались в основном для военных целей, в частности, для поиска, опознавания и уничтожения потенциально опасных подводных объектов (мин); разведки, сбора данных и постановки помех; освещения подводной обстановки, поиска и обнаружения объектов противника; несения и применения подводного оружия, охраны акватории, а также для подледных исследований. В дальнейшем АНПА стали применять для гражданских целей – выполнения поисковых работ, поиска и обследования затонувших объектов, контроля прибрежной зоны на глубинах, осмотра и исследования подводных конструкций и сооружений (установок газо- и нефтедобычи, газо- и нефтепроводов, кабельных трасс), комплексного исследования морского дна и картографирования прибрежной зоны [3].

На сегодняшний день существует два способа применения АНПА различного назначения. Первый, когда АНПА применяется с судна-носителя. После выполнения миссии АНПА необходимо поднять на борт судна, снять полученную информацию и обработать ее оператором либо передать на берег по существующим радиоканалам. После этого принимается решение о завершении миссии либо задается новая миссия для АНПА.

Второй способ, когда на дне акватории устанавливают донное причальное устройство (ДПУ) [2], предназначенное для размещения на нем АНПА, подводной зарядки его аккумуляторной батареи и обеспечения двусторонней связи между оператором берегового пункта управления и АНПА с целью информационного обмена через подводный кабель-канал, подключенный к ДПУ (снятие накопленной информации и получение новых заданий), а также для проведения диагностики системы АНПА. Это позволяет АНПА в течение длительного времени работать под водой уже независимо от судна-носителя, но в пределах одной акватории [1].

В данной статье речь пойдет о втором способе, когда АНПА базируется на ДПУ.

Данный способ целесообразно применять для решения таких задач, как поиск, опознавание и уничтожение потенциально опасных подводных объектов (мин), охрана акватории, контроль и осмотр прибрежной зоны на глубинах, осмотр и обследование подводных конструкций и сооружений (установок газо- и нефтедобычи, газо- и нефтепроводов, кабельных трасс) и других задач, которые подразумевают многократное использование АНПА.

Следует отметить, что АНПА, базирующиеся на ДПУ, имеет свои ограничения, которые объясняются:

- удаленностью ДПУ от берегового пункта управления, ограниченного длиной кабель-канала между ними;
- тактико-техническими характеристиками АНПА, ограниченной емкостью аккумуляторной батареи и подводной навигацией, которые определяют радиус применения АНПА.

Работа такого АНПА осуществляется по следующему алгоритму (рис. 1):

- АНПА получает задание от оператора с берегового пункта управления и приступает к выполнению миссии;
- выполняет заданную миссию;
- после завершения миссии возвращается и пристыковывается на ДПУ;
- начинается зарядка аккумуляторной батареи и передача собранной информации через ДПУ оператору на береговой пункт управления. Переменный ток подается на борт АНПА через несколько индуктивных соединителей, тем самым происходит зарядка аппарата и передача информации через канал обмена информацией, который находится в одном из индуктивных соединителей;
- полученная в береговом пункте управления информация обрабатывается оператором;
- после обработки полученной информации оператор принимает решение о следующей миссии и передает задание на ДПУ;

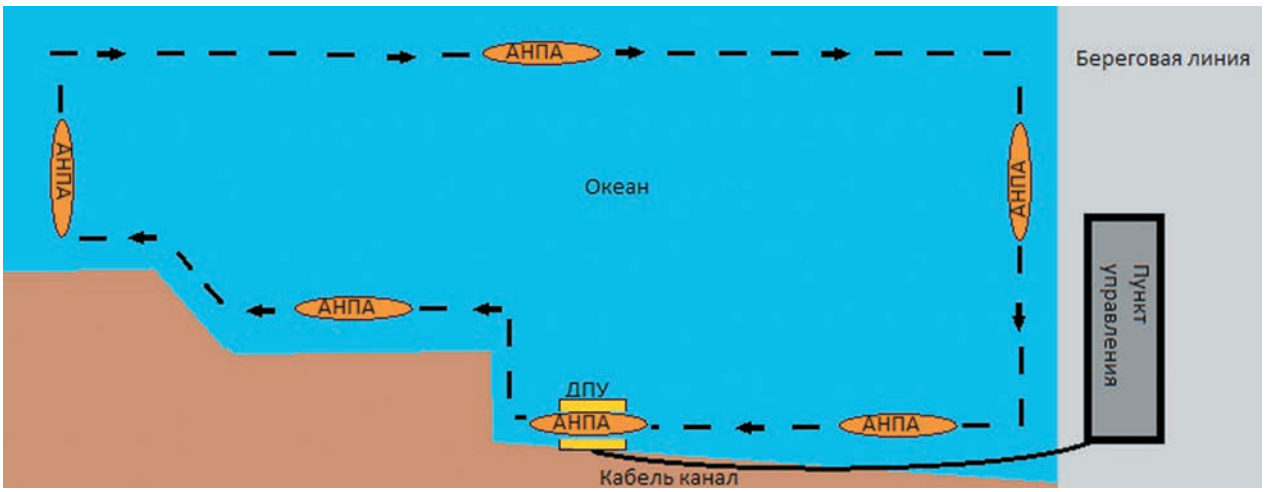


Рис. 1. ***Принцип работы АНПА, базирующегося на ДПУ***

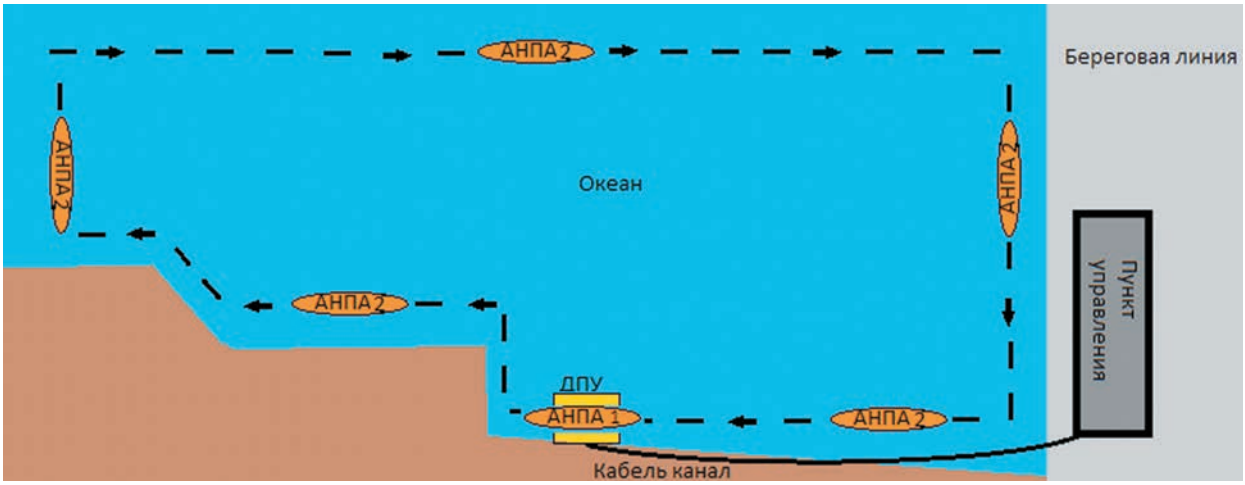


Рис. 2. ***Работа двух АНПА, базирующихся на одном ДПУ***

– АНПА приступает к выполнению следующей миссии по новому заданию от оператора.

При таком порядке использования АНПА возникают большие временные потери:

– при ожидании оператором в береговом пункте управления полученной от АНПА информации и ее обработке;
– при зарядке аккумуляторной батареи после выполнения миссии;
– при необходимости проведения незапланированного ремонта АНПА с привлечением судна-спасателя;
– при поиске аварийного АНПА в акватории с дальнейшим его подъемом и ремонтом на судне-спасателе.

Данные временные потери становятся критическими, а в некоторых случаях недопустимыми.

Таких существенных недостатков можно избежать при использовании ДПУ с базированием на нем группы АНПА (двух, трех и более), однако обзор открытых источников показал, что таких ДПУ пока нет.

Рассмотрим вариант работы двух АНПА с использованием одного ДПУ. АНПА1 после завершения миссии базируется на ДПУ, передает собранную информацию оператору на береговой пункт управления и заряжает аккумуляторную батарею. В это время АНПА2 выполняет текущую миссию, а оператор обрабатывает полученную информацию от АНПА1.

Аппараты сменяют друг друга на ДПУ, тем самым происходит непрерывное выполнение основной миссии (рис. 2).

При этом стоит отметить, что при выходе из строя одного из АНПА оператор берегового пункта управления может задать миссию другому АНПА по поиску первого. При таких обстоятельствах поиск аварийного АНПА будет проходить оперативней, так как он может быть начат незамедлительно, до прихода в район судна-спасателя, что сокращает общее время поиска. Это, в свою очередь, приведет к более быстрому восстановлению работы группы АНПА для выполнения своей миссии.

Подобное использование группы АНПА с ДПУ сокращает выше описанные временные потери, обеспечивает программируемое и непрерывное выполнение миссии, а также имеет перспективу в связи с обширным строительством подводной инфраструктуры газо- и нефтепроводов, размещением в арктических широтах платформ для добычи нефти и газа, которые требуют постоянного подводного мониторинга, а также охраны акваторий.

Вывод: для сокращения временных потерь, непрерывного выполнения миссии предложен вариант использования ДПУ с возможностью базирования на нем группы АНПА (двух, трех и более).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бахарев С. А., Карасев В. В., Карасев А. В.* Использование автономных необитаемых подводных аппаратов в процессе изучения Мирового океана – М.: Изд-во Дальневосточного гос. техн. рыбохозяйственного университета, 2015. – 63 с.
2. *Колесников М. П., Мартынова Л. А., Пашкевич И. В., Шелест П. С.* Метод позиционирования автономного необитаемого подводного аппарата в процессе приведения к причальному устройству//Изв. ТулГУ: Технические науки. – 2015,. – Вып. 11. – Ч. 2. – С. 38.
3. *Самко Ю. Г.* Подводные аппараты ВМФ СССР и России//Военно-технический альманах «Тайфун». – 1999. – № 3 (15).
4. *Галкин И. А.* Способ навигационного обеспечения автономных необитаемых подводных аппаратов. – СПб.: Изд. «ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Адмирала флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова», 2018. ■

В.С. НИКИТИНУ – 70 ЛЕТ

РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011

13 сентября 2021 г. исполнилось 70 лет Владимиру Семеновичу Никитину, советнику генерального директора ОСК, доктору технических наук, профессору, президенту Российского и Международного научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н. Крылова.

В.С. Никитин всю свою сознательную жизнь следует правилу учиться всю жизнь. В 1974 г. он окончил с отличием Волгоградский политехнический институт по специальности «Механическое оборудование автоматических установок». Работал на предприятии «Звездочка» помощником строителя кораблей, заместителем главного конструктора, затем главного инженера, заместителем генерального директора – начальником отдела гражданского судостроения и маркетинга. С 1998 по 2007 г. он – генеральный директор «Научно-исследовательского проектно-технологического бюро «Онега».Каждая новая компетенция укрепляла авторитет научного бюро в судостроительном сообществе, среди заказчиков. Рядом со «Звездочкой» стал активно развиваться научный проектно-технологический центр судоремонта и надежный партнер. Именно НИПТБ «Онега» в полной мере раскрыло потенциал Никитина как директора крупного коллектива и научного руководителя молодых ученых. За девять лет работы в этой должности удалось разработать и внедрить прогрессивные технологии ремонта, модернизации и утилизации кораблей ВМФ с обеспечением экологической безопасности.

С 2007 по 2015 г. В.С. Никитин – генеральный директор «Центра судоремонта «Звездочка», где под его руководством осуществлялись все виды комплексных ремонтов и модернизация атомных подводных лодок и надводных кораблей, а также успешно реализовывались программы военного кораблестроения, военно-технического сотрудничества. Молодого руководителя отличало умение рождать идеи, которые сначала казались просто невыполнимыми, но потом именно их воплощение позволило заводу в самые трудные времена оставаться на плаву.

В развитие и для реализации инновационной программы ОСК под руководством В.С. Никитина создан центр пропульсивных систем на базе винтообрабатывающего производства «ЦС «Звездочка» и НПО «Винт».

В 1984 г. он окончил аспирантуру Санкт-Петербургского морского технического университета по специальности «Проектирование и конструкция судов». В 1993 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Совершенствование коррозионных и акустических характеристик кингстонных комплексов АПЛ», в 2003 г. – докторскую диссертацию на тему «Обеспечение ядерной, радиационной и химической безопасности утилизации АПЛ». В 2016 г. ему присвоено звание профессора.

В 2015 г. по результатам конкурса В.С. Никитин был назначен генеральным директором Крыловского государственного научного центра. В 2018 г., перейдя на работу в ОСК советником президента Алексея Рахманова, В.С. Никитин максимально использует накопленный опыт в интересах развития инновационного судостроения, взаимодействия научных организаций с современным производством.

Более 28 лет Владимир Семенович совмещает основную работу с преподавательской деятельностью в Севмашвтузе – филиале СПбГМТУ, позднее в филиале САФУ в качестве доцента (с 1993 г.), а затем профессора (с 2004 г.) кафедры «Судовых силовых энергетических установок и океанотехники». Он – автор более 150 научных трудов, в том числе многих монографий, учебных пособий, патентов на изобретения, а также научного открытия № 357.

В.С. Никитин – действительный член Академии естественных наук РФ (2004 г.), Академии инженерных наук РФ, член Правления ядерного общества РФ (1998 г.). Член секции Научного совета по проблемам оборонно-промышленной безопасности при Совете безопасности РФ, Научно-экспертного совета Морской коллегии при Правительстве РФ, экспертного совета по развитию судостроительной промышленности при ГД РФ, Президиума НТС Российского морского регистра судоходства, экспертного Совета ВАК при Минобрнауки России по вопросам кораблестроения и ВМФ. Заместитель председателя редакционного совета журналов «Арктика. Экология и экономика», сопредседатель редсовета журнала «Морской вестник». Член редакционных коллегий журналов «Судостроение», «Радиоэлектронные технологии». Председатель редакционного совета бюллетеня «Вопросы утилизации АПЛ» (2004 г.). Член Президиума Комитета по судостроению Коллегии ВПК.

В 2017 г. избран президентом Российского и Международного Научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н. Крылова». Проводит плодотворную общественную деятельность, призванную всемерно способствовать инновационному развитию заводов и проектных организаций судостроительной отрасли. За работу «Совершенствование технологии ремонта АПЛ за счет продления сроков службы и ресурса оборудования» удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники (1999 г.). За выдающиеся заслуги по теме «Разработка и промышленное освоение экологически безопасных технологий и комплексной утилизации АПЛ» удостоен Государственной премии РФ в области науки и техники (2004 г.).

В 2009 г. за монографию «Вывод из эксплуатации объектов использования атомной энергии» и ее реализацию при комплексной утилизации АПЛ на предприятиях Северодвинска удостоен звания лауреата премии им. М.В. Ломоносова.

В.С. Никитину присвоены почетные звания «Заслуженный машиностроитель», «Почетный судостроитель», «Почетный гражданин г. Северодвинска». Он награжден рядом государственных и ведомственных наград: медалями «За трудовую доблесть», «300 лет Российскому флоту», «За отличие в морской деятельности», «Адмирал Кузнецов», «За укрепление обороноспособности России». Награжден грамотами Федеральной службы безопасности России, заместителя министра обороны РФ, Почетными грамотами Совета Федерации Федерального Собрания РФ и грамотой губернатора Архангельской области.

Известно замечательное высказывание М.В. Ломоносова: «Ошибки замечать немногого стоит, дать нечто лучшее, вот что приличествует достойному человеку». Его вполне можно применить для характеристики В.С. Никитина.

Корабелы поздравляют Владимира Семеновича Никитина с юбилеем и желают ему продолжения успешной работы на пользу России.

Судостроители Северодвинска, ЦП НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» поздравляют юбиляра со знаменательной датой и желают ему здоровья, благополучия и дальнейших научных достижений. ■

ЭСТАФЕТНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ PAAMES/AMEC2021

В.С. Никитин, *д-р техн. наук, проф., президент РосНТОС им. акад. А.Н. Крылова,*
К.В. Рождественский, *проф., заслуженный деятель науки РФ, директор Департамента международного сотрудничества СПбГМТУ, контакт. тел.+7 (931) 252 7108, +7 (931) 298 3421*

20-22 сентября 2021 г. в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете состоялась эстафетная международная конференция PAAMES/AMEC 2021, организованная совместно с Научно-техническим обществом судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, а также в партнерстве с компанией ООО «Нева Интернэшнл» и Международным Союзом научных и инженерных общественных объединений. PAAMES/AMEC, или Передовая конференция по морскому инжинирингу паназиатской ассоциации морских инженерных обществ, была создана с целью продвижения науки и технологий в морском инжиниринге, поддержки развития морской промышленности, обмена научной информацией, повышения статуса морских инженеров и развития сотрудничества между организациями-членами в странах Азиатско-Тихоокеанского региона.

В настоящее время в ассоциацию (PAAMES) входят: НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, СПбГМТУ, Шанхайское общество судостроителей и морских инженеров (КНР), Всекитайское общество судостроителей и морских инженеров, Фуцянское общество судостроителей и морских инженеров, Общество судостроителей и морских инженеров провинции Цзянсу, Общество судостроительного инжиниринга провинции Хейлунцзян, Гонконгский институт морских технологий, Гонконгский институт инженеров, Японское общество судостроения и океанотехники, Японский институт морского инжиниринга, Японский институт навигации, Корейское общество морского инжиниринга, Корейское общество океанского инжиниринга, Общество судостроителей Кореи, Тайваньское общество судостроителей и морских инженеров, Общество судостроителей и морских инженеров Сингапура, Отделение северо-восточной Азии Института морского инжиниринга, науки и технологий (Лондон).

Особенность конференции PAAMES/AMEC 2021, организованной альянсом СПбГМТУ-НТО Судостроителей,– *сочетание традиционной тематики «судостроение и судоходство» с новыми информационными технологиями* в духе концепции «Индустрия 4.0». Организаторы анонсировали следующие темы мероприятия:

Судостроение и судоходство:
- Проектирование и конструкция судов.
- Технология судостроения.
- Судоремонт и реновация.
- Морская добыча нефти и газа.
- Возобновляемая энергия океана.
- Безопасность и защита окружающей среды.
- Международное регулирование.
- Арктические технологии и судоходство.
- Порты: инжиниринг и менеджмент.

Морской инжиниринг 4.0:
- Цифровизация.
- Большие данные.
- Интернет судов.
- Лазерные и аддитивные технологии.
- Виртуальное прототипирование.
- Искусственный интеллект.
- Морские дроны.
- Электронная и автономная навигация.
- CAD-CAM.
- Вычислительная механика.

Торжественное открытие международной конференции PAAMES/AMEC 2021

На шести сессиях конференции (пленарная, арктических технологий, проектирования-конструкции-строительной механики, морской робототехники, энергетики судна и океана, теории корабля и гидродинамика) участниками из России, Китая, Индии, Японии, Кореи, Сингапура, а также Германии и Финляндии было сделано более 70 докладов. В PAAMES/AMEC 2021 г. в качестве спикеров и слушателей приняли участие многие известные морские инженерные организации России: Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, ФГУП «Крыловский государственный научный центр», АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова», НИЦ «Курчатовский институт»–ЦНИИ КМ «Прометей», АО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин», АО «СПМБМ «Малахит», АО «Концерн «НПО «Аврора», АО «ЦКБ «Лазурит», АО «Машиностроительный завод «Армалит», АНО «Отраслевой Центр Маринет», АО «Концерн «Океанприбор», АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», ФАУ «Российский морской регистр судоходства», АО «Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота», АО «Концерн «Гранит-Электрон», АО «Концерн «Морское подводное оружие–Гидроприбор», ООО «Морские Инновации» Сколково инновационного центра, АО «Морские навигационные системы», ООО «Нониус инжиниринг», а также иностранные организации, специализирующиеся в области судостроения и морской техники, в том числе Группа аэрокосмических и оборонных компаний CAH (Индия), Гонконгский институт морских технологий, Гонконгский политехнический университет, Гонконгский университет, факультет морских наук университета г. Кобе (Япония), Национальный морской исследовательский институт (Япония), Университет науки и технологий провинции Цзянсу (КНР), Харбинский инженерный университет (КНР), Национальный институт морских, портовых и авиационных технологий (Япония), Национальный исследовательский институт рыбного хозяйства (Япония), Высшая школа инжиниринга университета г. Осака (Япония), Университет Инха (Корея), корпорация «Самсунг Хэви Индастриз»

(Корея), Корейский морской и океанический университет (Пусан), фирма Эволоджикс ГМБХ (Германия), Университет г. Росток (Германия), Университет ААЛТО (Финляндия).

Спонсорами конференции стали АО «Объединенная судостроительная корпорация», ее дочерние предприятия АО «ЦКБ МТ «Рубин», АО «СПМБМ «Малахит», АО «Адмиралтейские верфи», а также АО «51 Центральный конструкторско-технологический институт судоремонта», АО «Концерн «НПО «Аврора», АО «Машиностроительный завод «Армалит», АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», АО «Концерн Морфлот», ЗАО «Канонерский судоремонтный завод», проектно-конструкторское бюро ЗАО «Спецсудопроект».

На открытии конференции выступили от имени ее организаторов ректор СПбГМТУ, профессор Г.А. Туричин и президент НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, советник генерального директора АО «ОСК», профессор В.С. Никитин. С приветственным словом к участникам обратился Герой России, Почетный гражданин Санкт-Петербурга, профессор В.Л. Александров. В записи прозвучали приветствия президента Общества судостроителей Кореи, успешно организовавшего предыдущую конференцию PAAMES/AMEC 2018 в Пусане, профессора Хьюн Соо Кима и нового президента Японского общества судостроения и океанотехники, профессора Масахико Фудзикубо.

Продолжением традиций международных конференций СПбГМТУ по морской робототехнике 2017 и 2019 гг. стала одноименная сессия конференции PAAMES/AMEC 2021, прошедшая с большим успехом как в стенах университета, так и на площадке выставки «Нева–2021» в Экспофоруме. В первой части сессии, состоявшейся в Морском инженерном научно-образовательном центре СПбГМТУ, предметом обсуждения были вопросы использования волнового глайдера в качестве мобильного шлюза подводной беспроводной сенсорной сети, управления гибридной системой энергообеспечения АНПА, бортовые аварийные средства морской робототехники и комплексы поисково-эвакуационной службы, «умная» модульная рыба-робот с деформируемым корпусом и грудными плавниками, использование батиметрии при моделировании навигации АНПА, проблемы

Сессия «Морская робототехника» конференции PAAMES/AMEC 2021 в Экспофоруме

посадки малых беспилотников на маломерные суда и особенности сложных электронных сигналов для мониторинга морской поверхности и распознавания обнаруженных объектов, опыт разработки подводных роботов при подготовке морских инженеров, концепция применения беспилотников для информационной поддержки обеспечения безопасности морской деятельности России в Арктике, результаты экспериментальных испытаний волнового глайдера, перспективные возобновляемые источники энергии подводных аппаратов, внедрение цифровых методов формирования сигналов возбуждения гидроакустических фазированных антенных решеток.

Ответом на приветствие вице-премьера Ю.И. Борисова в связи с открытием выставки «Нева–2021», где была подчеркнута важность развития морской робототехники, стала одноименная сессия, организованная СПбГМТУ совместно с НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова в рамках конференции PAAMES/AMEC 2021 в партнерстве с компанией «Нева Интернэшнл» (модератор – профессор К.В. Рождественский). Сессию, прошедшую в Экспофоруме 21 сентября, открыл советник генерального директора «Объединенной судостроительной корпорации», профессор В.С. Никитин. Сессия стала значительным событием выставки «Нева–2021» в качестве платформы для обсуждения докладов лидеров российской морской робототехники АО «ЦКБ МТ «Рубин» (Д.О. Семенов, «Комплекс «Витязь Д» для выполнения обзорно-поисковых и исследовательских работ в придонном слое и на грунте Мирового океана»), АО «СПМБМ «Малахит» (О.Г. Власов, «Создание мобильных подводных робототехнических платформ»), АО «НПО «Аврора» (С.Н. Сурин, «Морской модульный робототехнический комплекс со сменной полезной нагрузкой»), Центр по продвижению автономного судовождения МАРИНЕТ РУТ (А.С. Пинский, «А-навигация: российский подход к автономной навигации»), АО «ЦКБ «Лазурит» (Е.М. Апполонов, С.Х. Умяров, «Создание автономного необитаемого подводного аппарата большой автономности на базе комплекса инновационных решений»). Там же выступили зарубежные эксперты Харбинского инженерного университета, КНР (Янчао Сунь, «Метод адаптивного ограничения ошибок управления для систем АНПА») и фирмы Эколоджикс ГМБХ, Германия (Рудольф Баннаш и Константин Кебкал, «Группа быстроходных АНПА «Пингвин» как модуль системы наблюдения за взаимодействием краткосрочных событий в море в области исследований «Земля и окружающая среда»).

22 сентября прошло заседание международного постоянно действующего комитета (International Standing Committee) конференции PAAMES/AMEC, члены которого заслушали отчет СПбГМТУ–НТО судостроителей по конференции, проходящей в Санкт-Петербурге, высоко оценили уровень ее организации, тематическую направленность и содержание докладов, после дискуссии поддержали предложение российской стороны о проведении следующей конференции PAAMES/AMEC 2023 в Японии. ■

ОБЪЕДИНЕНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ ВОЕННОГО КОРАБЛЕСТРОЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ВОЕННО-МОРСКОЙ АКАДЕМИИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

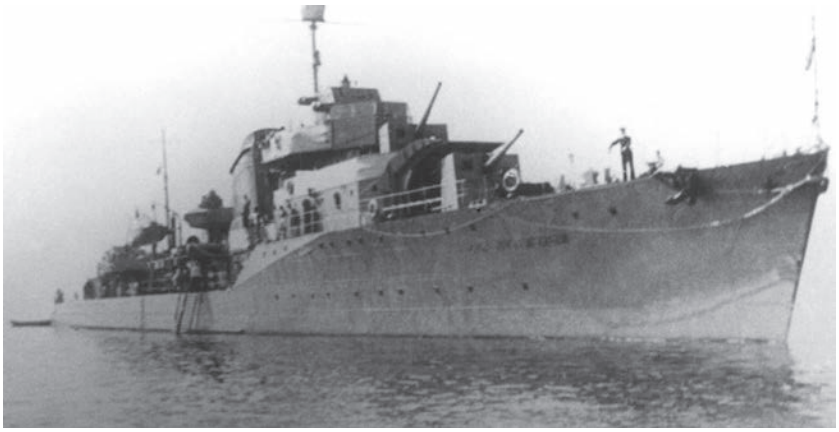
***В.Н. Половинкин**, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,*
***С.В. Федулов**, д-р истор. наук, доцент, член-корреспондент Академии военных наук, проф.,*
***Н.Н. Мизиркина**, преподаватель,*
***А.А. Васильева**, преподаватель,*
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,
контакт. тел. (812) 452 4865

Выдающийся отечественный кораблестроитель академик А.Н. Крылов отмечал, что «теория без практики мертва и бесполезна, практика без теории невозможна или пагубна, ... цель науки состоит в том, чтобы на основании изучения прошедшего и настоящего предвидеть будущее и на основании существующего творить новое» [1]. Именно этого постулата придерживается командование и профессорско-преподавательский состав Военно-морской академии.

Академик А.Н. Крылов

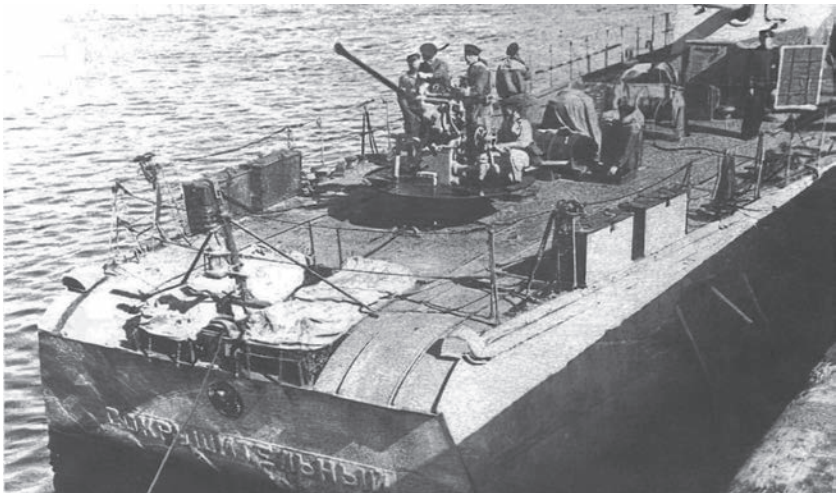
Важнейшим показателем качества как кораблей, так и корабельной техники, принятой на вооружение в довоенный период, являлось их боевое применение в годы Великой Отечественной войны. Анализ качества кораблей, военно-морской техники и их боевого применения активно использовался в научно-исследовательской работе и образовательном процессе ВМА.

Так, 17 ноября 1942 г. эсминец «Сокрушительный» и лидер эсминцев «Баку» Северного флота эскортировали конвой QP-15. 20 ноября 1942 г. в условиях 11-балльного шторма корабли стали возвращаться в базу поодиночке. В 14.30 ударами волн была оторвана и через 10 минут затонула вместе с шестью матросами корма эсминца «Сокрушительного». На помощь ему пришли эсминцы «Куйбышев», «Урицкий» и «Разумный». В ходе спасательных работ был снят 191 человек, 30 человек во время спасательных работ погибли. 21 ноября в 15.30 корабли, осуществляющие спасательные работы, ушли в базу для дозаправки топливом. На «Сокрушительном» осталось 13 матросов, командир БЧ-3 старший лейтенант Г.Е. Лекарев и старший политрук И.А. Владимиров. Последующие попытки обнаружить аварийный корабль не увенчались успехом, по-видимому, он затонул вскоре после ухода эсминцев. Большая часть офицерского состава во главе с командиром покинули корабль до эвакуации всего экипажа, за что командир корабля был впоследствии расстрелян, а старший помощник отправлен в штрафбат, но вернулся на флот и дослужился до звания контр-адмирала [2].



Эсминец «Сокрушительный» 22 июня 1941 года

В целях изучения и анализа аварии, предотвращения предпосылок возникновения ее в последующем 16 апреля 1943 г. руководство ВМА направило запрос в Научно-технический комитет (НТК) ВМФ на получение материалов, необходимых для проведения научно-исследовательских работ и организации учебного процесса на факультете Военного кораблестроения. А именно на: чертежи палубы эсминца пр. 7 с нанесенными на них трещинами, появившимися в результате навигационных аварий; информацию по неправильно сконструированным узлам палуб эсминцев пр. 7 и пр. 7У; доклад об обследовании причин аварии эсминца «Сокрушительный» на Северном флоте в 1942 г.;



Корма эсминца «Сокрушительный» с 37-мм зенитным автоматом

дополнительный расчет прочности эсминца пр. 7.

Для флотов был подготовлен вопросник по мореходным качествам и прочности корпуса эсминца проектов 7 и 7У [3].

Все запрашиваемые материалы руководство НТК ВМФ вскоре направило в ВМА. Исследовательские работы были проведены в полном объеме и выданы рекомендации по усилению корпусов эсминцев, которые в дальнейшем использовались в отечественном кораблестроении. Вместе с тем результаты исследования активно использовались в образовательном процессе на факультете Военного кораблестроения. Важно отметить, что этот факультет с 1934 по 1945 г. выпустил свыше 400 специалистов, из которых многие занимали ответственные должности на флоте, в судостроительной промышленности и за свою работу были отмечены правительственными наградами.

Образовательный процесс на факультете Военного кораблестроения шел в соответствии с учебными планами изучаемых дисциплин. Помимо теоретических занятий слушатели проходили стажировку на флотах, практику в научных учреждениях и на предприятиях, писали дипломные работы. Так, 15 января 1943 г. для обеспечения слушателей-дипломников факультета в соответствии с ходатайством начальника Управления кораблестроения (УК) ВМФ инженер-контр-адмирала Н.В. Исаченкова, начальником 5-го Главного управления Народного комиссариата судостроительной промышленности (НКСП) было дано указание начальнику ЦКБ-17 об отправке в г. Самарканд в адрес начальника ВМА полного комплекта материалов договорного проекта базового тральщика №263 [4]. Что и было выполнено.

Начальник управления кораблестроения инженер-адмирал Н.В. Исаченков

1 марта 1944 г. во время практики в ЦКБ-18 слушатели учебной группы 521-Э факультета Военного кораблестроения ВМА, командиром которой был инженер-капитан 3 ранга Юнонин, заказали ряд чертежей для использования их в дипломном проекте. При этом расходы за снятие калек с синек, за изготовление светокопий составили 2390 рублей. Деньги финансовой службы академии по указанию заместителя начальника ВМА по научной и учебной работе были перечислены на счет ЦКБ-18 [5].

19 июля 1944 г. начальник Управления кораблестроения НК ВМФ инженер-вице-адмирал Н.В. Исаченков направил заместителю наркома ВМФ адмиралу И.С. Исакову для утверждения изменение тем дипломных работ и дипломных проектов факультета Военного кораблестроения ВМА, а именно:

1. Котлотурбинная специальность: дипломные работы – 5 тем; дипломные проекты – 5 тем.

2. Дизельная специальность: дипломные работы – 3 темы; дипломные проекты – 6 тем [6].

Важной особенностью образовательного процесса факультета был учет опыта боевого применения, эксплуатации и повреждений кораблей в условиях военного времени.

Объединением теории и практики в образовательном процессе факультета Военного кораблестроения являлась научная работа, проводимая профессорско-преподавательским составом и слушателями.

В мае 1943 г. сотрудниками факультета были подготовлены материалы и отчеты по испытаниям опытного котла для ЦКБ-4.

В июне 1943 г. факультетом была оказана помощь: Государственному гидрографическому институту при разработке им темы «Дрейф корабля под воздействием ветра и волн»; Кораблестроительному отделу НТК при составлении «Предложения о желательных направлениях работы лаборатории корабельных деформаций».

В апреле–июне 1943 г. группой профессорско-преподавательского состава факультета Военного кораблестроения был разработан проект «Конструкция руля с переменной площадью балансированной части» [7].

В июле 1943 г. профессорско-преподавательский состав кафедры «Проектирования кораблей» факультета, а именно: начальник кафедры инженер-контр-адмирал А.П. Шершов, доцент кафедры инженер-капитан 1 ранга Щеглов и начальник факультета инженер-капитан 1 ранга Лысенко принял участие в работе расширенного заседания Технического совета при НТК ВМФ [8].

С 20 августа по 15 сентября 1943 г. профессор факультета инженер-подполковник И.Г. Хановичи находился в командировке в ЦАГИ, где проводил консультации, участвовал в испытаниях и составлении отчета об экспериментальной части работы «Мореходность миноносцев».

5 декабря 1943 г. заместитель начальника НТК НКВМФ по Московской группе инженер-капитан 2 ранга Потапов сообщал начальнику факультета инженер-капитану 2 ранга Н.Я. Эрману о результатах командировки и проделанной работе профессором ВМА инженер-капитаном 1 ранга Мордовиным, а именно:

1. В Казани для группы электриков сделан доклад на тему: «Свойства коротких корабельных электрических сетей».

2. Дан отзыв о материалах работы комиссии, проводившей испытания эсминца «Страшный» и его боевой эксплуатации.

3. Дан отзыв об электротехнической части эсминца пр. 40.

4. Дан отзыв о разработке ЦКБ-4 «Объяснительной записки по выбору рода тока и напряжения на современных линкорах».

5. Дан отзыв о материалах Технического совета ЦНИИ-45 по вопросу «О переходе на переменный ток на легких силах ВМФ и торговом флоте».

6. Даны соображения по разработанным основным требованиям НТК к электрооборудованию кораблей.

7. Даны консультации по техническим заданиям на анализ и разработку схем канализации электроэнергии кораблей.

8. Дана консультация по написанию задания Энергетическому институту Академии наук на разработку устойчивости параллельно работающих генераторов при резких изменениях нагрузки.

14 января 1944 г. инженер-капитан 2 ранга факультета Военного кораблестроения Залесский под руководством вице-адмирала, профессора кафедры Тактических свойств боевых средств профессора Л.Г. Гончарова выполнил научно-исследовательскую работу на тему: «Определение основных элементов бронекатеров, речных тральщиков и сравнительные таблицы элементов этих кораблей» [9].

21 января 1944 г. заместитель начальника 5-го Главного управления НКСП Зубов поставил начальнику ЦКБ-17 Александрову следующую задачу: «Для выполнения научно-исследовательской работы, проводимой кафедрой Электрооборудования факультета Военного кораблестроения ВМА, прошу выслать им комплект технических условий на электрооборудование по сильному и слабому току по проектам кораблей 7-УЭ и 23 или 69».

22 января 1944 г. в соответствии с требованиями начальника Управления боевой подготовки НК ВМФ вице-адмирала С.П. Ставицкого руководством

Начальник ВМА вице-адмирал В.А. Петровский

ВМА была включена в план научно-исследовательских работ тема: «Боевые схемы непотопляемости кораблей».

25 января 1944 г., исполняющий обязанности директора, главный инженер ЦНИИ-45 НКСП Кривцов уведомлял начальника ВМА: «На Ваши запросы сообщаю, что расчеты гребных винтов по кораблям проектов 7, 26, 69, 23, а также протоколы испытаний моделей гребных винтов указанных кораблей будут высылаться по мере их оформления в течение 1944 года».

8 февраля 1944 г., начальник ВМА направил начальнику НТК ВМФ инженер-капитану 1 ранга А.А. Якимову материалы работ, выполненных инженер-капитаном 1 ранга В.М. Мордвиновым, а именно:

1. «К вопросу выбора методики анализа живучести схем канализации электрической энергии военных кораблей».

2. Тезисы доклада на Техническом совете НТК ВМФ на тему: «Требования к кабелям и проводам для ВМФ на основании опыта Отечественной войны».

3. Проект решения Технического совета НТК ВМФ на тему: «Требования к кабелям и проводам для ВМФ на основании опыта Отечественной войны».

8 марта 1944 г. заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе направил начальнику ЦКБ-18 НКСП отзыв члена-корреспондента Академии Наук СССР, профессора М.И. Яновского «По проектам ГОСТ на шкалу стандартных мощностей для газовых паровых турбин» [10].

15 апреля 1944 г. начальник ЦКБ-18 Меркурьев и исполняющий обязанности главного инженера Деребин обратились к заместителю наркома ВМФ адмиралу Л.М. Галлеру и начальнику ВМА контр-адмиралу В.А. Петровскому со следующей просьбой: «В настоящее время ЦКБ-18 работает над актуальными вопросами подводного судостроения, в значительной степени относящихся к области гидродинамики, а именно:

1. Исследование срочного погружения подводной лодки с хода.

2. Управляемость подводной лодки на подводном ходу.

3. Улучшение эксплуатационно-маневренных элементов.

Теоретическая разработка этих вопросов немыслима без участия в них научных учреждений СССР и высококвалифицированных их представителей. В частности, в разработке отдельных вопросов и исследований весьма желательно участие профессора факультета Военного кораблестроения ВМА И.Г. Хановича, которого просим командировать в ЦКБ-18 сроком на один месяц. Желательно его прибытие в ЦКБ-18 20–30 мая 1944 года».

Разрешение было получено, и 6 мая 1944 г. главный инженер ЦКБ-18 НКСП Соловьев направил профессору И.Г. Хановичу конкретные темы для разработки:

1. Выбор рационального профиля руля.

2. О рациональном выборе формы теоретического чертежа профиля руля.

3. Расчет влияния на погружение подводной лодки волнового сопротивления.

20 апреля 1944 г., исполняющий обязанности начальника НТК инженер-капитан 1 ранга Попов направил начальнику ВМА контр-адмиралу В.А. Петровскому положительные заключения на доклады, подготовленные к заседанию Технического совета НТК ВМФ:

- инженер-капитаном 1 ранга Мордовиным на тему: «Выбор величин напряжения корабельных электрических сетей»;
- инженер-капитаном 1 ранга Полонским на тему: «Требования к проектированию электроприводов эсминцев и других кораблей легких сил на основе боевого использования и эксплуатации кораблей проекта 7 и 7у» [11].

8 мая 1944 г. начальник отдела Изобретений инженер-капитан 2 ранга Серебряков направил заместителю начальника ВМА по научной и учебной работе инженер-капитану 1 ранга Г.В. Штейнбергу отзыв на изобретение инженер-подполковника Сахарова по проблеме «Уменьшение общепризнанного режима экономного хода подводной лодки», при этом отметил, что «подчиненный ему отдел рассматривает только изобретения. Работа инженер-подполковника Сахарова представляет серьезный научный труд, поэтому будет более тщательно проанализирована» [12].

Изучение опыта эксплуатации военно-морской техники в годы Великой Отечественной войны и выработка рекомендаций по его использованию, в том числе и образовательном процессе включало:

В ноябре 1943 г. адъюнкт факультета Военного кораблестроения инженер-капитан 3 ранга Рогушин был командирован в Казань с целью сбора и систематизации материалов Отечественной войны в области паровых турбин.

20 декабря 1943 г. флагманскому инженер-механику штаба Черноморского флота была направлена научная работа инженер-капитана 1 ранга М.И. Плотникова «Новый метод приготовления механизмов корабля к походу».

В декабре 1943 г. начальником кафедры Проектирования кораблей факультета Военного кораблестроения инженер-контр-адмиралом, профессором А.П. Шершовым был подготовлен научный труд «Повреждения кораблей в кампании Отечественной войны 1941–1942 гг. и выводы их боевой деятельности по имеемым за этот период материалам».

13 января 1944 г. доцент факультета Военного кораблестроения инженер-капитан 1 ранга М.И. Плотников принял участие в сборах флагманских специалистов инженер-механиков флотов и флотилий.

11 августа 1944 г. начальник Управления Боевой подготовки НКВМФ вице-адмирал С.П. Ставицкий направил начальнику ВМА «Выводы по итогам сборов флагманских инженер-механиков флотов и флотилий», утвержденные наркомом ВМФ Адмиралом флота Советского Союза Н.Г. Кузнецовым.

9 октября 1944 г. заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе инженер-капитан 1 ранга Г.В. Штейнберг направил начальнику Оперативного управления ГМШ ВМФ вице-адмиралу С.Г. Кучерову отзыв с материалами, выполненными инженер-подполковником И.Г. Хановичем на статью капитана 1 ранга Киреева «Аналитический способ определения скорости хода корабля с тралом».

15 октября 1944 г. инженер-подполковник факультета Военного кораблестроения Л.Я. Резницкий участвовал в проведении опытов кренования миноносцев на Северном флоте [13].

Изучение военно-морской техники противника и союзников включало в августе 1943 г. факультетом Военного кораблестроения ВМА рассмотрение и изучение следующих материалов:

- по единому двигателю для надводного и подводного хода подводной лодки;
- некоторые сведения о немецких типах полупогружающихся судов и малых подводных лодках;
- информацию о результатах исследования некоторых образцов английских красок, применяемых для камуфляжа кораблей ВМФ Великобритании [14].

4 февраля 1944 г. военпред Технического управления (ТУ) ВМФ Рогов обратился к начальнику ВМА контр-адмиралу В.А. Петровскому с запросом: «Перед заводом №682, на котором представляю Техническое управление ВМФ, поставлена задача освоения нашей промышленностью плавучего кабеля для магнитного трала, закупленного в Англии.

Никаких данных, кроме конструкции самой жилы, нам не выслано, а так как данные тралы уже применялись на Северном флоте, я надеюсь, что в Ваших отчетах для НКВМФ есть интересующие нас данные.

Прошу Вас дать указание факультету Военного кораблестроения оказать нам техническую помощь и выслать тактико-техническое задание, схему применения трала кораблями ВМФ, а также конструкцию коробок, электродов, зажимов и соединительных муфт. Крайне желательно, чтобы эту работу выполнил инженер-капитан 1 ранга Полонский или инженер-подполковник Сахаров». Резолюция начальника ВМА, адресованная начальнику факультета гласила: «Помочь насколько возможно» [15].

26 июля 1944 г. из Разведывательного управления ГМШ ВМФ на факультет Военного кораблестроения поступил отчет инженер-майора Семененко о посещении им судостроительной верфи г. Рокланд (5–6 мая 1944 г.) с краткими описаниями спасательного корабля «ARS» (американской модели) объемом в шесть листов и четыре фото.

30 сентября 1944 г. из ЦКБ-18 в ВМА была выслана обработанная в ЦКБ-18 по материалам Разведывательного управления ГМШ ВМФ брошюра об новой американской подводной лодке.

13 декабря 1944 г. заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе инженер-капитан 1 ранга Г.В. Штейнберг обратился к начальнику Разведывательного управления ГМШ ВМФ с просьбой включить в задание на разведку вопросов, входящих в перечень научно-исследовательских работ кафедры Паровых котлов, состоящем из 8 пунктов [16].

Подготовка научных кадров.

С 7 июля по 6 сентября 1943 г. адъюнкт факультета Военного кораблестроения инженер-капитан 3 ранга Н.А. Залесский был командирован в ЦНИИ-45, ЦКБ ЦАГИ (Казань, Горький, Самара, Москва) для сбора материалов для дис-

Инженер-контр-адмирал П.Ф. Папкович

сертации [17].

1 июня 1944 г. профессор факультета Военного кораблестроения П.Ф. Папкович направил председателю Ученого совета ЦНИИ-45 заслуженному деятелю науки и техники Ю.А. Шиманскому положительный отзыв оппонента на диссертацию инженера ЦНИИ-45 В.Ф. Сегаля, выдвинутой на соискание ученой степени доктора технических наук.

10 июня 1944 г. член-корреспондент Академии наук СССР, доктор технических наук, профессор инженер-контр-адмирал П.Ф. Папкович подготовил и направил в Ученый совет ВМА «Отзыв о научной деятельности инженера М.А. Рудницкого. В нем отмечалось: «Научная деятельность инженера М.А. Рудницкого мне известна с 1929 г. по настоящее время.

Мне известно, что М.А. Рудницкий с 1929 по 1935 г. руководил разработками проектов подводных лодок в НТК и НИВКе ВМФ, а затем, до начала Отечественной войны, строил большие подводные лодки типа «К» по своему проекту на заводе им. Марти в Ленинграде. Построенные им корабли эффективно используются в Отечественной войне и получили высокую оценку командования ВМФ. М.А. Рудницкий в своей работе тесно связывал научную деятельность со строительством подводных лодок. Его работа, несомненно, является большим вкладом в строительство нашего флота.

Инженер М.А. Рудницкий заслуживает присвоения ему ученой степени доктора технических наук без защиты диссертации, тем более что проведение им защиты своих проектов соответствует защите диссертации» [18].

Таким образом, объединение теории и практики военного кораблестроения в образовательном процессе факультета Военного кораблестроения осуществлялась по следующим направлениям:

- анализ качества военного кораблестроения и корабельной техники, принятой на вооружение в довоенный период, ее улучшение и совершенствование, исходя из опыта боевых действий и создание новых разработок в интересах флота;
- изучение опыта эксплуатации военно-морской техники в годы Великой Отечественной войны и выработка рекомендаций по его использованию;
- изучение военно-морской техники противника и союзников. В-четвертых, подготовка научных кадров.

Тем самым руководство ВМА, командование инженерных факультетов еще в годы Великой Отечественной войны, объединяя теорию и практику военного кораблестроения, подготовили базу для формирования уникального научно-образовательного военно-морского учебного заведения – Военно-морской академии кораблестроения и вооружения имени А.Н. Крылова, которая успешно функционировала с 1945 по 1960 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крылов А.Н.* Теория и практика. – Труды Военно-морской академии кораблестроения и вооружения им. А.Н. Крылова.– Л.: 1953. – Вып. 6.– С. 247
2. *Платонов А.В.* Энциклопедия советских надводных кораблей 1941–1945.– СПб.: Полигон. – 2002. – С. 187.
3. Филиал Центрального архива Министерства обороны РФ (архив ВМФ, г. Гатчина). Ф. 879. Оп. 3946. Д. 5. Л. 1–9.
4. Там же. Л. 56.
5. Там же. Л. 54.
6. Там же. Л. 226–229.
7. Там же. Л. 27–34.
8. Там же. Л. 20.
10. Там же. Л. 10–26.
11. Там же. Л. 93–95.
12. Там же. Л. 101.
13. Там же. Л. 63, 71, 78, 79, 270, 281.
14. Там же. Л. 42, 50, 54.
15. Там же. Л. 31.
16. Там же. Л. 230–231.
17. Там же. Л. 35.
18. Там же. Л. 213. ■

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕКОНСТРУКЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОГО ПЕРЕВООРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ «РАЗБИВОЧНЫЙ ПЛАЗ», ВХОДЯЩЕГО В СОСТАВ АО «АДМИРАЛТЕЙСКИЕ ВЕРФИ»

А.В. Михайлов, *гл. архитектор,*
И.А. Алексеев, *вед. инженер отдела гл. архитектора,*
АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 494 7964, 494 7970

В настоящее время АО «Адмиралтейские верфи» сформировало большой портфель заказов на 2020–2030 гг., в который входит серийное производство подводных лодок проектов 636 и 677, крупных надводных кораблей для ВМФ РФ и гражданских судов. Старейшему судостроительному предприятию Санкт-Петербурга в этом году исполняется 317 лет. Основанные в 1704 г. верфи расположены в центре города, и на его территории находятся 14 объектов культурного наследия (ОКН). Учитывая местоположение и ограниченность площади, строительство новых цехов здесь практически невозможно, поэтому ОКН продолжают использоваться в производственных целях (рис. 1).

Для выполнения указанных заказов увеличиваются мощности корпусного производства (КП). КП осуществляет разбивку теоретического чертежа на плазе, обработку (очистку, грунтовку, резку, гибку в холодном и горячем состоянии, механическую и термическую обработку) листового и профильного проката металла, выполняет заготовку деталей для сборочных единиц выпускаемой продукции.

ОКН «Разбивочный плаз» входит в состав участка № 5 КП. Функциональное назначение здания – размещение на первом этаже оборудования для первичной обработки металла: очистки и окраски, резки и зачистки металлических профилей. На втором этаже расположены разметочный плаз и подсобные помещения. После реконструкции и реставрации указанный объект предполагается использовать по прямому назначению. При этом предстоит выполнить реставрацию крыши и усилить стропильные фермы.

Реконструкция здания «Разбивочного плаза» состоит в создании условий для работы нового оборудования с увеличенной пропускной способностью. Начало работ запланировано на 2023 г.

Здание «Разбивочного плаза», построенное в 1914 г. по проекту Н. П. Козлова (рис. 2), является вновь выявленным ОКН регионального значения на основании приказа председателя КГИОП № 15 от 20.02.2001.

Разбивочным плазом называют специальное помещение корпусообрабатывающего цеха, на полу которого в натуральную величину выполняют разбивку корпуса, а также изготавливают шаблоны, каркасы и макеты на прилегающем к нему участке. Именно такое помещение расположено под крышей здания.

Плазовые работы – начальный и один из самых важных этапов постройки корпуса судна.

Разметку и гибку корпусных деталей, а также сборку узлов, секций, блоков и корпуса в целом делают по теоретическому чертежу, выполненному в натуральную величину (или в укрупненном масштабе). Процесс вычерчивания теоретического чертежа плазового корпуса называют разбивкой корпуса на плазе, этот процесс начинается задолго до того, как начнут работать остальные цеха завода, и продолжается в течение всего строительства судна.

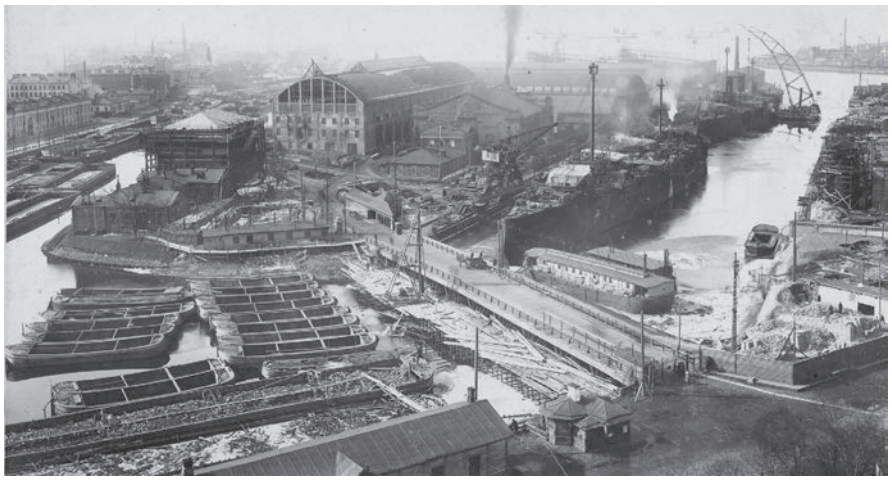


Рис. 1. ***Вид на Галерный островок, 1914 г.***

Плазовый корпус представляет собой теоретический чертеж судна с числом шпангоутов, предусмотренным конструкцией судна. На нем вычерчивают следующие конструктивные элементы корпуса: продольный набор (днищевые и бортовые стрингеры, карлингсы, комингсы люков), настил второго дна, платформы и палубы, ребра жесткости, линии пазов наружной обшивки и др.

Рис. 2. ***Вид здания «Разбивочного плаза»***

Для графической разбивки плазового корпуса конструкторское бюро передает исполнителю работ, помимо таблицы ординат, эскизы сеток проекций (с размерами), формы форштевня и кормовой оконечности, формы мидель-шпангоута, погиби и седловатости верхней палубы и др. Размеры, приведенные в таблице плазовых ординат, имеют неточности, так как их снимают с масштабного 1:50 (1:25) теоретического чертежа, ординаты которого даны по 20 теоретическим шпангоутам (практических шпангоутов на судне в несколько раз больше), поэтому ординаты каждого практического шпангоута определяют с плазового корпуса.

Из технической документации предприятия известно, что в 1965–1966 гг. была выполнена реконструкция стропильной системы и покрытия здания, включавшая в себя демонтаж существовавших световых фонарей, расположенных по стропильным фермам (рис. 3). Также были реконструированы стропильные фермы для возможности монтажа фотопроекционной будки. Вероятнее всего, тогда же на торцевых фасадах плаза историческая мелкая геометрическая расстекловка оконных заполнений была заменена стеклоблоками.

Здание «Разбивочного плаза» прямоугольное в плане, двухэтажное, каркас – из монолитного железобетона с самонесущими кирпичными стенами, фундаменты бутовые, ленточные (под стены) и столбчатые (под колонны), с двумя пролетами в уровне первого этажа и одним – в уровне второго этажа, с устройством трехэтажного административно-бытового блока, без подвала.

Габаритные размеры здания – 135,3×31,4 м. Высота здания в коньке от уровня дневной поверхности составляет 24,5 м в наивысшей точке кровли. Высота первого этажа в свету – 11,5 м, второго этажа в свету – 11,3 м.

В настоящее время конструктивная система здания представляет собой полный каркас из монолитных железобетонных колонн, подкрановых балок и конструкций перекрытий, металлических стропильных ферм с опиранием на них деревянных конструкций покрытия. Наружные стены выполнены в виде заполнения между колоннами из кирпичной кладки на сложном растворе, в которых наблюдаются трещины и выветривание раствора в швах, следы сильного замачивания поверхности стен и технологические отверстия в них. Стеновое ограждение части административно-бытового корпуса (АБК) выполнены из шлакобетонных блоков. Здание – без чердака и подвала и имеет совмещенную арочную кровлю. Несущими конструкциями кровельного покрытия являются металлические клепаные фермы с криволинейным верхним поясом

Рис. 3. ***Стропильная конструкция крыши***

и опирающимися на них деревянными конструкциями покрытия, также частью конструкции кровли являются деревянные кобылки, закрепленные к основанию ферм, опирающихся на железобетонные колонны здания. У стропильных конструкций кровли имеются искривления поясов, стоек в разных плоскостях и повсеместное искривление элементов вертикальных связей. По верхнему поясу арок горизонтальные связи выполнены из деревянных прогонов, которые со временем усохли, подверглись биоповреждениям и другим воздействиям. Каркас кровли находится в ограниченно работоспособном состоянии.

Полы в производственной части здания выполнены на первом этаже из бетона, в уровне четвертого этажа: в плазе – из фанеры с покрытием, в административно-бытовых помещениях покрыты линолеумом, в сантехнических помещениях – метлахской плиткой. Все полы в настоящее время находятся в ограниченно работоспособном состоянии.

Поскольку состояние каркаса кровли и полов ограниченно работоспособное, необходимо выполнить реконструкцию здания «Разбивочного плаза». Для разработки проектной документации специализированная организация ООО «Модуль» (лицензия Министерства культуры Российской Федерации МКРФ 04052 от 15 февраля 2017 г.) на основании технического задания КГИОП Санкт-Петербурга от 19.07.2019 г. обследовала зданиеи разработала проект его реконструкции.

В результате обследования строительных конструкций здания, подплазового участка было выявлено следующее: стропильные конструкции за годы длительной эксплуатации получили значительный физический износ, заключающийся в наличии повреждений практически во всех их элементах, правда разной степени, это привело к искривлению верхнего пояса из плоскости, что может быть связано с потерей устойчивости стропильной конструкции. Кроме этого, одним из основных дефектов следует считать демонтаж горизонтальных связей по верхнему поясу арок (такое решение было принято ошибочно при замене покрытия на дощатый настил с деревянными прогонами, при этом предполагалось, что прогоны, установленные в упор к верхним поясам арок, будут элементами, обеспечивающими закрепление верхних поясов из плоскости, в какой-то мере это имело смысл, но только временный, так как древесина со временем усыхает, подвергается биоповреждениям и другим воздействиям и не может служить достаточно надежной связью для раскрепления верхних поясов). Таким образом, техническое состояние стропильных конструкций можно признать ограниченно работоспособным:

- фундаменты в настоящее время дефектов и повреждений не имеют, их техническое состояние можно признать работоспособным;
- наружные самонесущие кирпичные стены за годы длительной эксплуатации получили естественный физический износ и находятся в ограниченно работоспособном состоянии;
- техническое состояние обвязочных и подкрановых балок можно признать ограниченно работоспособным.

Установленная категория общего технического состояния объекта – ограниченно работоспособное.

В период ремонтно-реставрационных работ производственная деятельность цеха не может быть остановлена. Работа по ремонту кровли предусмотрена захватками по 20 м в продольном направлении. Дополнительно охранная зона проведения ремонтных работ должна составлять 5 м с обеих сторон захватки. Производственная деятельность под захваткой и в охранной зоне запрещена.

Для выполнения производственных задач в ходе ремонта кровли предусмотрено разделение пространства на три

зоны временными гипсокартонными перегородками до уровня нижнего пояса ферм. Пространство над перегородками до кровли ограждается армированной полиэтиленовой пленкой.

Для работы сотрудников, которые располагаются в существующем АБК, предусмотрено устройство временных рабочих мест между осями, разграниченных временными облегченными перегородками высотой 2,2 м. Устройство временных рабочих мест и перемещение сотрудников из существующего АБК должно проводится после завершения ремонтных работ по кровле.

Одновременное выполнение работ по ремонту кровли и АБК невозможно. Указанные работы не повторяются. По этой причине разбить объект на участки с повторяющимися технологическими процессами (частным фронтам) невозможно. Поэтому работы основного периода на объекте будут выполняться в две очереди: первая – ремонт и реставрация крыши; вторая – ремонт АБК.

Ремонт и реставрация крыши ведутся комбинированным методом: поточным методом по захваткам с параллельными частными фронтами внутри захватки. Ремонт кровли и стропильной системы разбит на 23 отдельные захватки. Работа одновременно на нескольких захватках невозможна, так как при монтаже сложных конструкций кровли достичь нормативной точности стыковки отремонтированных параллельно участков кровли чрезвычайно трудно. Поэтому ремонт осуществляется захватками, начиная с первой оси и последовательно продвигаясь в сторону увеличения нумерации осей.

Внутри частного фронта (захватки) возможно выполнение параллельных частных фронтов:

- демонтаж существующего покрытия (две оси);
- реставрация, ремонт и усиление стропильных ферм (две оси);
- монтаж нового покрытия кровли по отремонтированным на предыдущей захватке фермам (две оси).

В соответствии с предложенной схемой работы одновременно по двум осям каждого элемента захватки проводятся в трех последовательных захватках. В первую очередь на элементе захватки (две оси, *i*-я захватка) осуществляется демонтаж существующего покрытия. Во вторую очередь на том же элементе, но уже следующей захватки (*i*+1 захватка), выполняются реставрация, ремонт и усиление стропильных ферм. В третью очередь на указанном выше элементе очередной захватки (*i*+2 захватка) осуществляется монтаж нового покрытия кровли по отремонтированным на предыдущей захватке фермам. Таким образом, работа с каждой из двух последовательных осей начинается в одной захватке и завершается в третьей по счету захватке после начала.

Ремонт и реставрация АБК проводятся на основе наиболее прогрессивных экономически выгодных методов, с использованием средств технологического обеспечения, а также поточного и комбинированного методов. Все работы, связанные с реконструкцией и реставрацией строительных конструкций, предстоит вести по специально разработанному проекту, согласно существующей технологии. В их числе: ремонт шлакобетонных наружных стен АБК с ликвидацией всех дефектов и повреждений, выполнение компенсационных конструктивных обрамлений существующих проемов в перекрытиях для надежной защиты стен от увлажнения атмосферными осадками, ремонт с усилением фундаментных балок, устройство отмостки с созданием надежного водоотвода атмосферных осадков от здания.

Первая и вторая очереди реконструкции выполняются последовательно.

Работы по реставрации крыши предусмотрена захватками и начинаются с первой захватки по оси 1 и продвигаются в сторону увеличения нумерации осей в следующей последовательности: между осей 1–2/1 устанавливаются инвентарные фасадные и внутренние леса. При устройстве внутренних лесов над существующей неразобранной кровлей просверливаются отверстия в местах прохода стоек инвентарных лесов. В отверстие пропускаются стойки. Свободное пространство в отверстии между стойкой кровлей заполняется монтажной пеной для исключения попадания воды в подкровельное пространство до устройства временной кровли. Под стойки лесов должны быть уложены башмаки размером 500×500 мм, выполненные из двух перекрестных рядов досок толщиной 50 мм.

Наружные инвентарные леса устанавливаются вдоль здания в процессе подготовки к работе на последующей захватке. Для исключения падения инструментов и других предметов из зоны проведения работ леса затягивают пластиковой сеткой. Проход людей под фасадными лесами не предусматривается.

На инвентарные леса монтируются стропила временной кровли. Между осями устанавливаются стропила временной кровли с опиранием на инвентарные леса с одной стороны и на деревянные стойки временной кровли по оси 3 с другой стороны. Устраивается обрешетка из досок 40×100 с шагом 300 мм. Временная кровля покрывается армированной полиэтиленовой пленкой, а существующее покрытие кровли разбирается. При разборке временной кровли деревянные прогоны между фермами не демонтируются. Так как прогоны выполняют распорные функции в кровле, подрядчик должен при разборке кровли осмотреть прогоны и при необходимости обеспечить дополнительное временное их раскрепление (подбивку клиньев, удлинение временными деревянными вставками и т. п.). Металлические фермы, находящиеся между лесов, реставрируются, конструкции усиливаются в соответствии с проектными решениями и монтируются в проектное положение. Инвентарные леса переставляются на вторую захватку таким образом, чтобы обеспечить возможность реставрации и усиления последующих двух металлических ферм.

Далее порядок работ такой же, как в первой захватке. Над отреставрированными фермами первой захватки монтируется временная кровля с опиранием стропил временной кровли на инвентарные леса по оси 2 (вторая захватка) с одной стороны и на деревянные стойки по оси 1 (первая захватка) с другой. Под временной кровлей над отреставрированными фермами первой захватки проводятся работы по устройству проектной кровли.

После подписания акта освидетельствования ответственных конструкций второй захватки работа на захватке считается завершенной, и подрядчик может приступить к работам на третьей захватке. Строительные процессы на захватках являются последовательными частными фронтами. Третья и последующие захватки выполняются в последовательности аналогично той, что описана для второй захватки. После завершения всех работ по реставрации и ремонту конструкций кровли допускается выполнение работ на кровле (монтаж ограждения крыши, устройство водоотлива с кровли, монтаж элементов молниезащиты).

В настоящее время специалисты отдела главного архитектора совместно с ООО «Модуль» готовят программу реализации проекта реконструкции (приспособления) здания «Разбивочного плаза», рассчитанную на пять лет.

В течение уже нескольких лет проводится техническое перевооружение корпусообрабатывающего цеха КП в целях развития его производственных мощностей и перехода к использованию крупногабаритного листового проката длиной до 12 м и шириной до 3,2 м. Внедрение современных технологий обработки металла позволит изготовлять современную конкурентоспособную продукцию требуемого качества в установленные сроки в соответствии с требованиями заказчика, увеличить

пропускную способность участка 5 КП с 17 тысяч до 24 тысяч тонн металла в год. С этой целью приобретена автоматическая линия Rösler для первичной обработки металла – очистки и грунтовки листов с максимальными габаритами 3200×12000 мм при толщине листа от 3 мм и профилей высотой до 500 мм и длиной до 12 м.

Для обработки и раскроя профильного проката длиной до 12 м установлена новая роботизированная высокопроизводительная линия резки профиля PRG-600. Гибка деталей из профильного проката выполняется на новой профилегибочной машине SBK-375.

Для правки металлического листового проката длиной до 12 м и шириной до 3,2 м приобретены и установлены листоправильные вальцы MG SP-3280.

Раскрой листового проката длиной до 12 м выполняется на машинах термической резки типа ESAB и Omnimat с двумя водоналивными столами. На МТР Omnimat внедрена современная технология резки под водой, обеспечивающая возможность резки листовых деталей с фаской (рис. 4).

Для раскроя листового проката длиной до 10 м в настоящее время применяются машины термической резки типа «Кристалл», введенные в эксплуатацию в 1991–1994 гг., и «Ритм», введенная в эксплуатацию в 2004 г. Эти машины морально устарели и физически изношены. Наработка на непрерывном резе превышает 11 000 часов. Нет возможности обслуживания и ремонта системы управления ЧПУ в связи прекращением выпуска компьютерных комплектующих, в случае выхода из строя хотя бы одного элемента управления машина термической резки становится непригодной к эксплуатации. На замену устаревших машин термической резки планируется приобрести новую машину плазменной резки с двумя водоналивными столами для резки на воде листовых деталей длиной до 10 м и машины газовой резки для резки деталей из листового проката длиной до 10 м.

Запланировано приобретение листоправильных вальцов для правки деталей толщиной до 30 мм и длиной до 12 м. Для передачи листового и профильного проката, обрабатываемых деталей на участке № 5 КП необходимы приобретение и установка комплекта новых управляемых рольгангов. В целях повышения производительности раскроя листового проката на машинах термической резки следует приобрести маркировочный портал и передать ему функцию автоматической маркировки вырезаемых деталей.

Внедрение нового технологического оборудования позволит обновить существенную часть устаревшего оборудования и увеличить пропускную способность участка № 5 КП на 15%.

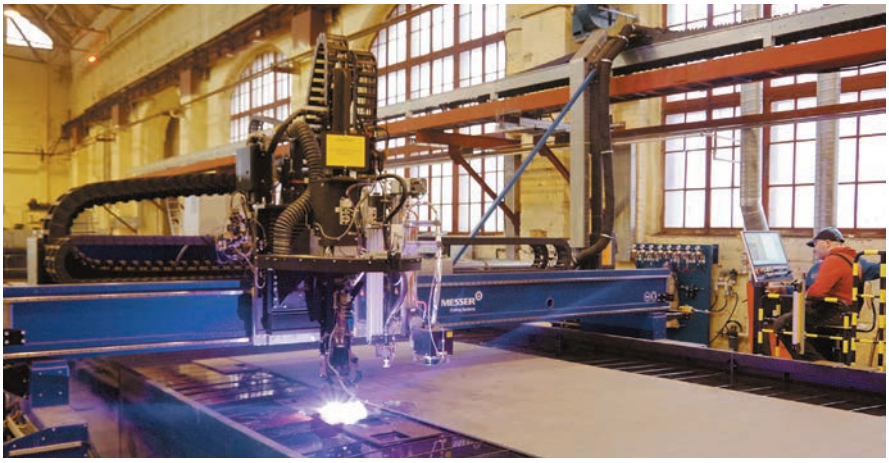


Рис. 4. ***Машина термической резки типа Omnimat***

Современные реалии жизни для строительства конкурентоспособных кораблей и судов требуют увеличения производительности мощностей судостроительных предприятий, внедрения современных технологий и повышения качества выпускаемой продукции. Для решения этих задач и получения долгосрочного портфеля заказов необходимо не только использовать цифровые (BIM) технологии при проектировании и строительстве заказов, но и внедрять новое прогрессивное оборудование, позволяющее повышать качество выпускаемых изделий, увеличивать производительность труда и сокращать сроки строительства кораблей и судов. В настоящее время в стране существует большой спрос на судостроительную продукцию всех видов, который реализуется за счет приобретения иностранных судов. АО «Адмиралтейские верфи» активно осваивает новые технологии, уменьшает долю ручного труда и переходит на крупноблочное строительство судов, которое будет означать качественный скачок для верфей. Для этого необходимы не только техническое перевооружение станочного парка предприятия, но реставрация и приспособление объектов культурного наследия для нужд производства, а также сохранение их для будущих поколений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Маклакова Т.Г., Нанасова С.М., Шарапенко В.Г.* Проектирование жилых и общественных зданий: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1998.
2. Восстановление памятников культуры. Проблемы реставрации: Сб. статей. – М., 1981.
3. *Ильинская Н.А.* Восстановление исторических объектов ландшафтной архитектуры. – Л., 1984.
4. *Бугаева И.М.* Обмеры памятников архитектуры: Методические разработки. Консервация и реставрация памятников и исторических зданий/Пер. с франц. Н.И. Суходрев и Ж.С. Розенбаума.– Екатеринбург: Изд-во УралГАХА «Архитектор», 1999.
5. Реконструкция зданий и сооружений: Учеб. пособие для студентов строительных специальностей вузов/Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Л. Шагина. – М.: Высшая школа,1991.
6. *Иванов Ю.В.* Реконструкция зданий и сооружений: усиление, восстановление, ремонт: учебное пособие для вузов/Ассоциация строительных вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ, 2013.
7. *Юдина А.Ф.* Реконструкция и техническая реставрация зданий и сооружений. – – М.: Издательский центр «Академия», 2011.
8. *Магамадов Х.А.* Факторы, влияющие на директивные сроки проектирования объектов культурного наследия. – Сб. статей магистрантов и аспирантов. – СПб.: ГАСУ. – Сер. «Строительство». – Т. 1. – Вып. 3. – С. 264–271.
9. ГОСТ Р 55528–2013. Состав и содержание научно-проектной документации по сохранению объектов культурного наследия. Памятники истории и культуры. Общие требования.
10. Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (ред. от 06.07.2019) «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
11. Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» (ред. от 18.07.2019).
12. Приказ Министерства культуры РФ от 13 января 2016 года № 28 «Об утверждении Порядка определения предмета охраны объекта культурного наследия, включенного в единый государственный реестр объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации в соответствии со статьей 64 Федерального закона от 25 июня 2002 года № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации».
13. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 27.12.2019).
14. Официальный сайт КГИОП https://kgiop.gov.spb.ru/ ■

ИЗБРАН ПРЕДСЕДАТЕЛЬ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

И.А. Лещенко, *пресс-секретарь Санкт-Петербургского Морского Собрания, контакт. тел. (812) 312 5396*

18 ноября 2021 г. Советом Старшин Санкт-Петербургского Морского Собрания избран его новый председатель. Им стал капитан 1 ранга в отставке Сергей Николаевич Ирютин, член СПб МС с 28 июля 1997 г., действительный член Собрания – с июля 1998 г. Награжден золотыми нагрудными знаками «За 15 лет безупречной службы в СПб МС», затем – «За 20 лет безупречной службы в СПб МС», многими орденами и медалями Собрания за активное участие в решении его уставных задач, честное и добросовестное исполнение стоявших перед ним задач.

Сергей Николаевич (1956 г. рождения) в ВМФ с 1973 г. Прошел путь от курсанта Высшего военно-морского училища им. М. В. Фрунзе до капитана 1 ранга. Выслуга лет в Вооруженных силах – более 32 лет. Ветеран Вооруженных сил РФ, кандидат военных наук (1992 г.), доцент (1994 г.), воин-интернационалист, участник боевых действий (Ангола, 1979 г.), педагог, ученый, академик Академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, член Петровской академии наук искусств. Награжден орденом «За военные заслуги» (1992 г.), многими медалями Минобороны России (СССР).

Автор более 100 научно-методических трудов, 10 изобретений, 2 патентов в области средств противоминной обороны и средств связи, многочисленных учебных пособий, научных статей, монографий, научно-исследовательских работ.

Флотскую службу проходил на кораблях Краснознаменной бригады траления Балтийского флота, был помощником командира морского тральщика. Впоследствии преподавал в Высшем военно-морском училище им. В. И. Ленина, Военно-морском инженерном институте. Выпускник командного факультета 6 ВСОК ВМФ (1984 г.). В 2003 г. прошел профессиональную подготовку в Военной академии Генерального штаба ВС РФ по специальности командно-штабная оперативно-стратегическая, Московскую академию государственного и муниципального управления РАГС при Президенте РФ, Северо-Западную академию Государственной службы по специальности «Государственное и муниципальное управление». В 2006 г. получил второе высшее образование по специализации «государственное регулирование экономики» при Северо-Западной академии Государственной службы.

С. Н. Ирютин разработал научное направление по подготовке личного состава ВМФ «Спасения на море», будучи членом Научно-технического совета ВМФ по вопросам спасения на море (2000–2005 гг.), написал (в соавторстве) пять учебных пособий. Результаты научных исследований Сергея Николаевича, которые нашли отражение в более чем 30 публикациях, в том числе в таких авторитетных изданиях, как «Морской сборник», «Морской флот», «Армейский сборник», «Аэрокосмическое обозрение» и др., способствовали выделению спасательной подготовки личного состава ВМФ в отдельный вид и внесению изменений в Корабельный устав. Появилась Правила спасательной подготовки.

В течение 15 лет, являлся командиром шлюпочных и яхтенных походов, лично организовал и провел 15 морских экспедиций курсантов, в том числе 4 международные в США (1998 г.) и в Финляндию (в 1994, 1996, 2004 гг.). Под его руководством к плаванию в экстремальных условиях подготовлено более 500 выпускников, пройдено на яхтах и шлюпках более 16 тысяч миль по водным путям России, США, Балтийскому морю.

С. Н. Ирютин воссоздал Царскосельскую флотилию и традиции Царскосельского Адмиралтейства по проведению морских праздников на Екатерининском пруду в честь 300-летия Российского и Балтийского флота, 300-летия Санкт-Петербурга и Царского Села и многих др.

С 2014 по 2018 гг. работал в судостроительной отрасли Санкт-Петербурга. С 2016 по 2018 г. руководил работами по строительству (производству), монтажу, вводу в эксплуатацию, ремонту и сервисному обслуживанию учебно-тренировочных комплексов для подготовки моряков к действиям в аварийных ситуациях на базе морских транспортных контейнеров, тренажеров по борьбе за живучесть корабля (судна), борьбе с пожаром и водой, а также водолазной подготовкой и др.

В настоящее время – пенсионер МО РФ. Наиболее значимым его вкладом в работу СПб МС были организация им мероприятий по празднованию в России и Финляндии (2013–2014 гг.) 300-летия победы Российского флота в Гангутском сражении 1714 г. и подготовка мероприятий, посвященных 250-летию победы русского флота над турецким в Чесменском сражении (2020 г.).

19 ноября 2021 г. состоялось заседание Совета межрегиональной общественной организации «Ассоциация Морских собраний», на котором ее председателем был избран С. Н. Ирютин. По завершении заседания члены Ассоциации посетили Николо-Богоявленский Морской Собор, где приняли участие в торжественной литургии, проведенной духовником СПб МС протоиереем Богданом (Сойко), который благословил всех членов Ассоциации и избранного председателя на благие дела во славу флота и Отечества.

Впереди 2022 г. – год 350-летия со дня рождения основателя российского регулярного военно-морского флота императора Петра Великого. Эта дата для СПб МС в составе Ассоциации Морских собраний – еще один повод для активного содействия возрождению морских традиций, воспитанию моряков на идеях патриотизма и беззаветного служения российскому Отечеству и народу. ■

ТРЕБОВАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ СТАТЕЙ И УСЛОВИЯ ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутоновые), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 678 **Ключевые слова:** ООО «Винета», судовое оборудование, маломерные суда, полимерный композитный материал, инфузия, лодка, катер

П.Ю. Петров. Преимущества применения полимерных композитных материалов при изготовлении маломерных судов//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 11

Дано описание созданных в ООО «Винета» маломерных судов с корпусом из полимерного композитного материала. Показаны преимущества судов с таким корпусом, в том числе их прочность, меньший вес, долговечность и меньшая стоимость. Т. 1. Ил.4

УДК 621.436 **Ключевые слова:** винт изменяемого шага, винт фиксированного шага, реверсивные характеристики, движитель, выбег

Л.И. Вишневский, А.Р. Тогуняц. Сравнительные реверсивные характеристики судна, оснащенного винтом изменяемого шага//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 13

Рассмотрены сравнительные характеристики режима экстренной остановки (crush stop) судна, оснащенного поочередно винтами фиксированного (ВФШ) и изменяемого шага (ВИШ), при его маневрировании. Приведены конструктивные особенности винтов. Показано, что тормозной путь судна, оснащенного ВИШ, короче, чем тот же путь судна с ВФШ. Оснащение судов ВИШ предпочтительнее при экстренном торможении судна по сравнению с таким же судном, но оборудованным ВФШ. Ил. 9. Библиогр. 8 назв.

УДК 94/629.5 **Ключевые слова:** Егоров Геннадий Вячеславович, история, влияние, анализ, проектирование, судоремонт, судостроение, судоходство

А.Г. Егоров. Профессор Г.В. Егоров: наука и практика //Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 17

Показан путь становления и итоги деятельности профессора, доктора технических наук, лауреата Государственной премии, члена экспертного совета ВАК Г.В. Егорова как видного ученого и практика в области проектирования судов, судостроения, судоремонта и судоходства. Описаны основные научно-практические результаты деятельности профессора Г.В. Егорова, в т.ч. на международной арене. Отдельно дана история создания Морского Инженерного Бюро. Ил. 18. Библиогр. 42 назв.

УДК 629.128 **Ключевые слова:** судоремонт, рыбопромысловый флот, доковый ремонт, судоремонтные предприятия, обслуживание судов, крупнотоннажные, среднетоннажные рыбопромысловые суда, проблемы российского судоремонта, рыбная промышленность.

Г.С. Зверев, А.А. Юртаев, О.С. Портнова. Судоремонт рыбопромыслового флота на Дальнем Востоке России: текущая ситуация и основные проблемы//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 28

Рассмотрены вопросы отечественного рыбопромыслового судоремонта. Выделены основные судостроительные и судоремонтные предприятия, способные выполнять полный спектр работ по обслуживанию судов рыбопромыслового флота. Рассмотрена действующая система обслуживания рыбопромысловых судов на отечественных и зарубежных предприятиях, рассчитаны доковые мощности дальневосточных предприятий. Т. 1. Ил.2. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** военно-морской флот, военно-морские силы, боевые надводные корабли, многоцелевые корабли, корабельные дизельные двигатели, корабельные газотурбинные двигатели, корабельные энергетические установки, схемное исполнение энергетических установок, частичное электродвижение, полное электродвижение

А.В. Шляхтенко, И.Г. Захаров, В.В. Барановский. Анализ обоснованности технических решений при формировании облика энергетических установок перспективных кораблей//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 35

В статье на основе сравнительного анализа показывается предпочтительность использования частичного электродвижения с дизель-электрической передачей крутящего момента на винт на кораблях дальней морской и океанской зоны. Ил.5. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.12.8 **Ключевые слова:** атомная подводная лодка, энергетическая установка (ЭУ), водоводяной реактор, жидкометаллический теплоноситель, паропроизводящая установка, паротурбинная установка, воздухонезависимая энергетическая установка, единая газотурбинная энергетическая установка

В.В. Замуков, Е.В. Сальников, М.И. Романова, В.А. Михайлов, Д.В. Сидоренков. Основные направления выполняемых работ отделения энергетики АО «СПМБМ «Малахит» //Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 41

АО «СПМБМ «Малахит» – пионер в разработке и создании атомных подводных лодок страны. Созданная и отработанная специалистами бюро первая российская атомная ПЛ «Ленинский комсомол» открыла эру атомного подводного флота России. Параллельно с водоводяным направлением бюро разрабатывает и установки с реакторами на жидкометаллическом теплоносителе (ЖМТ). Сегодня только СПМБМ «Малахит» со своими контрагентами владеет технологией установок с ЖМТ в первом контуре. За последние 30 лет в АО «СПМБМ «Малахит» были выполнены исследования всех существующих типов воздухонезависимых энергетических установок (ВНЭУ). Ил. 2.

УДК 629.5.067 **Ключевые слова:** изоляция, сопротивление, измерение, ток утечки, модуль контроля, обмотка дополнительного устройства

В.В. Фогель, И.В. Онорин, В.Ю. Селякова, В.Н. Грачев. Инновационный подход к расчету сопротивления изоляционных материалов в обмотках ДУ статических преобразователей корабельных систем компенсации электромагнитных полей//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 43

Рассмотрен метод определения сопротивления изоляционных материалов, используемых в обмотках дополнительных устройств (ДУ), входящих в состав секционных корабельных систем компенсации электромагнитных полей (СКЭМП), основанный на измерении косвенных параметров (тока и напряжения). Данный метод позволяет оптимизировать по времени процесс определения сопротивления изоляции электрических цепей, находящихся под напряжением, с целью повышения качества и надежности аппаратуры автоматического контроля изоляции статических преобразователей в СКЭМП. Ил.2. Библиогр. 3 назв.

УДК 62–522.2 **Ключевые слова:** телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА), робототехника, семистепенной морской глубоководный манипулятор, гидравлические манипуляторные устройства, кинематический расчет

В.С. Кожевников, П.К. Смирнов. Расчет глубоководного гидравлического манипулятора МГМ-7. Часть 1 //Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 47

Выполнен кинематический анализ гидравлического манипуляторного устройства (МУ) на примере МГМ-7. Отражены рабочие зоны МУ в виде различных плоских сечений. Ил. 3. Библиограф. 3 назв.

УДК 629.12037 **Ключевыеслова:** судовойвалопровод, крутильные колебания, упругая муфта, резиновые элементы, температура нагрева

В.К. Румб, Хтоо Наинг Аунг. Методические основы определения температуры нагрева упругих муфт при расчете крутильных колебаний судовых валопроводов //Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 51

При расчете крутильных колебаний судовых валопроводов существует проблема прогнозирования нагрева упругих муфт. Предлагается решать эту проблему на основе баланса подведенной и отведенной теплоты. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.225 **Ключевые слова:** расчет, нагрузка, расход, давление, полость, сечение, жидкость, поршень

Ю.В. Копытов, М.А. Шахнов, А.Н. Викторов. Рассмотрение и определение расчетных соотношений величин давлений в полостях гидроцилиндров рулевых машин при дроссельном регулировании // Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 53

Проведен теоретический анализ характера распределения нагрузок в полостях гидроцилиндра привода к баллеру судового руля при следующих вариантах установки дросселей: на напоре, на сливе, на напоре и на сливе одновременно. Результаты анализа позволяют рекомендовать предложенную методику нагрузок в элементах гидросистемы и выбора оптимального варианта распределения перепада давления на дросселях.

УДК 62–135 **Ключевые слова:** динамика, двигатель, газотурбинный, оптимальные параметры, перегрузки

Н.В. Бабанин. Снижение динамической нагруженности газотурбинного двигателя (ГТД) за счет установки диссипирующего упругого звена (ДУЗ) с оптимальными параметрами//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 56

Динамические перегрузки в газотурбинных двигателях – актуальная проблема, так как они приводят к снижению ресурса и надежности двигателя. В этой связи разработано диссипационноупругое звено ДУЗ, благодаря которому (согласно расчетам) удалось снизить динамическую нагруженность вала ГТД. Т. 1. Ил.10. Библиогр. 15 назв.

УДК 536.63 **Ключевые слова:** химический состав, сплав, никель, предел длительной прочности, предел ползучести сплавов

А.З. Багерман. Прогнозная оценка пределов длительной прочности, выносливости, ползучести и механических свойств сплавов на основе никеля//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 62

Представлен алгоритм расчетной оценки химического состава сплава на основе никеля, его пределов прочности длительностью до 2000 часов, выносливости до частоты колебаний нагрузки 10 кГц, ползучести и механических свойств. Рассмотрена возможность

расчетным путем прогнозировать предел длительной прочности никелевых сплавов при температурах 700–900 °С при продолжительности эксплуатации 100 часов и более. Т. 9. Библиогр. 9 назв.

УДК 629.734.7: 519.8 **Ключевые слова:** морской беэкипажный комплекс, технология экспериментальной отработки, бортовая система управления, испытательный стенд, интеллектуальное управление

А.Г. Юрескул, А.Н. Попадьин, В.С. Кашлаков, Е.А. Сапожков, М.М. Еремеев. Базовая технология обеспечения проектирования и испытаний морских беэкипажных комплексов//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 65

Описан подход к созданию интегрированной технологической среды наземных испытаний, предназначенной для контроля и проверки составляющих узлов и аппаратуры в целом морских беэкипажных комплексов на всех этапах проектирования, отработки, сдачи и эксплуатации. Технология обеспечивает качественно новый уровень автоматизации процессов наземных испытаний аппаратуры морских беэкипажных комплексов на базе новых информационных технологий. Ил. 1. Библиогр. 9 назв.

УДК 338.28 **Ключевые слова:** инфраструктура пространственных данных морской деятельности, технология картографирования, объектно-ориентированная модель пространственных данных, 3D визуализация, 3D картографирование

А.А. Рябов, О.Д. Осипов, С.П. Буртный. Переход на технологию 3D картографирования морских акваторий //Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 69

Рассмотрены вопросы формирования инфраструктуры пространственных данных в контексте построения информационных сред и технологии картографирования. Приведена реализация автоматизированной картографической системы морской деятельности на объектно-ориентированной платформе. Ил. 8. Библиогр. 12 назв.

УДК 656.61 **Ключевые слова:** безопасность плавания, е-Навигация, электронная картографическая навигационная информационная система, интегрированная навигационная система, навигационные задачи

В.Б. Шариков. ЭКНИС «Беринг» //Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 76

Кратко изложены основные особенности разработанной компанией АО «Ситроникс КТ» электронной картографической навигационной информационной системы «Беринг». Приведены отличительные особенности ЭКНИС «Беринг» от традиционных систем, обозначено ее соответствие концепции е-Навигации. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 004.056.53 **Ключевые слова:** математическая модель, конфиденциальная информация, техническая защита, канал утечки информации, специальные средства, марковский случайный процесс

В.Г. Ерышов, Р.Д. Куликов. Моделирование системы технической защиты конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемых объектах информатизации предприятия//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 78

Рассмотрена математическая модель процесса функционирования системы технической защиты конфиденциальной информации, обрабатываемой на защищаемом объекте информатизации в терминах теории марковских случайных процессов. Данная модель может быть использована для оценки эффективности системы технической защиты информации объекта информатизации. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 614.843 **Ключевые слова:** система комплексной оценки пожарной опасности объекта, первичные источники информации, многомерный вектор состояния, многомерный временной ряд, прогнозирование, сингулярное разложение, анализ сингулярных спектров (SSA), множественная регрессия

А.В. Макшанов, В.А. Колесник, Д.В. Быков, Е.Н. Антонова. Применение алгоритмов идентификации многомерных хаотических временных рядов При оценке пожароопасной ситуации в корабельных помещениях //Морской вестник. 2021. № 4 (80). С.82

Посвящена новым методам обработки информации, поступающей от первичных ее источников в программные блоки системы комплексной оценки пожарной опасности корабельных помещений (СКПО) в виде многомерных хаотичных временных рядов. Реализация данных подходов призвана обеспечить повышение быстродействия и снижение вероятности принятия ошибочного решения при осуществлении пожарной безопасности корабля. Ил. 8. Библиогр. 25 назв.

УДК 929 **Ключевые слова:** НПО «Аврора», «эпоха В.В. Войтецкого», морское приборостроение, автоматизированные корабельные комплексы управления

Ю.А. Губанов. К 90-летию со дня рождения В.В. Войтецкого // Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 87

Об основных этапах жизни и многогранной деятельности Витольда Витальевича Войтецкого, девяностолетний юбилей которого – важная дата для всех, кто его знал, работал с ним, общался и дружил. Представлены основные вехи становления и развития В.В. Войтецкого как инженера, ученого, руководителя, педагога. Его жизнь неразрывно связана с НПО «Аврора», которое он возглавлял в течение 25 лет и для которого так много успел сделать. Представлен краткий обзор развития НПО «Аврора» в период деятельности В.В. Войтецкого. Ил. 8. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.5.073.4 **Ключевые слова:** плавание во льдах, безопасность эксплуатации, ледовый сертификат, POLARIS, оценка рисков

Г.Е. Егиазаров, В.В. Якимов. Обеспечение безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях: вызовы и возможности цифровой реальности. Часть 1 // Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 95

Выполнен развернутый обзор современного состояния обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях. Представлены и исследованы основные используемые на практике подходы к ее реализации. Выявлены и проанализированы актуальные проблемы разработки и применения регламентирующей документации, определены приоритетные пути их решения. Сделан вывод о том, что риск-ориентированная методология обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях и построенные на ее основе бортовые информационные системы в наибольшей степени отвечают вызовам и возможностям цифровой реальности. Т. 2. Ил. 3. Библиогр. 15 назв.

УДК 629.12 **Ключевые слова:** дифференциальные уравнения качки, диаграмма статической остойчивости, гармоническая линеаризация, плавучесть, непотопляемость

П.А. Шауб, А.А. Уляшев. Оценка поведения судов в современных штормовых условиях//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 101

Работа посвящена исследованию параметров бортовой качки судна в сложных современных штормовых условиях. Выведена система дифференциальных уравнений качки с учетом нелинейности диаграммы статической остойчивости, наличия затопленных отсеков всех категорий (1, 2, 3), качки, нелинейности, угла крена с использованием методов гармонической линеаризации при любой диаграмме остойчивости, которая рекомендуется при оценке опрокидывания судна, с учетом взаимовлияния угла качки и крена дрейфа.Т. 2. Ил. 1. Библиогр. 12 назв.

УДК 656.61.087 **Ключевые слова:** поиск, спасание, индивидуальное спасательное средство, коллективное спасательное средство, персональный аварийный радиомаяк

В.Н. Илюхин, Ф.Д. Виноградов, Н.А. Вальдман, В.И. Таровик. О совершенствовании требований к судовым спасательным средствам // Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 104

Рассматривается вопрос о необходимости, основанной на опыте спасания людей, терпящих бедствие на море, дополнения Правил Российского регистра судоходства (РС) обязательными требованиями по оснащению индивидуальных спасательных средств (ИСС) (спасательных жилетов и гидротермокостюмов) персональными радиомаяками с учётом морских районов плавания судов для определения их местоположения для целей поиска и спасания. В Правилах РС целесообразно также определить порядок применения спасательных средств и устройств нового типа, обеспечивающих более высокий уровень безопасности. Т. 2. Ил. 4. Библиогр. 9 назв.

УДК 656.614.32 **Ключевые слова:** штабель, ярус, пакетированный пиломатериал, сила, ускорение, момент

Г.А. Пелехов. Расчетные модели крепления пакетированных пиломатериалов при перевозке на открытой палубе судов//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 110

В настоящее время существуют нормативные методики расчета пакетирования и крепления грузов на палубе судна, однако многочисленные практические данные о разрушении штабелей пакетированных пиломатериалов подтверждают, что данные расчетные схемы имеют множество недостатков и не учитывают ряд внешних воздействий. Это не позволяет точно рассчитать поведение штабеля пиломатериалов и его крепление на борту. В статье рассмотрены расчетные модели крепления пакетированных пиломатериалов, перевозимых на палубе судна. Библиогр. 10 назв.

УДК 629.584 **Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, донное причальное устройство, обследование акватории

В.Г. Данилова. Обследование акватории несколькими автономными необитаемыми подводными аппаратами, базирующихся на одном донном причальном устройстве//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 113

Описывается вариант использования донного причального устройства с возможностью базирования на нем группы автономных необитаемых подводных аппаратов (двух, трех и более). Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 623.8. **Ключевые слова:** Военно-морская академия, факультет Военного кораблестроения, профессорско-преподавательский состав, слушатели, научно-исследовательская работа

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, Н.Н. Мизиркина, А.А. Васильева. Объединение теории и практики военного кораблестроения в образовательном процессе Военно-морской академии в годы Великой Отечественной войны//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 118

Освещается научно-исследовательская и педагогическая деятельность факультета Военного кораблестроения Военно-морской академии, направленная на обобщение боевого опыта Великой Отечественной войны в интересах развития военного кораблестроения. Ил. 6. Библиогр. 18 назв.

УДК 658.51 **Ключевые слова**: объект культурного наследия (ОКН), реконструкция, техническое перевооружение, элементы охраны ОКН, поэтажное зонирование помещений, эксплуатационная нагрузка, полезная площадь помещений

А.В. Михайлов, И.А. Алексеев. Организация реконструкции и технического перевооружения объекта культурного наследия «Разбивочный плаз», входящего в состав АО «Адмиралтейские верфи»//Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 122

Рассмотрено увеличение производительности мощностей АО «Адмиралтейские верфи» с внедрением современных технологий и повышение качества выпускаемой продукции для строительства конкурентоспособных кораблей и судов. Реставрация «Разбивочного плаза» включают в себя исследование и технологию проведения строительных работ, результатом которых будет восстановление работоспособности конструкций и обеспечение установки металлообрабатывающего оборудования с целью повышения производительности на 15–20%. Ил. 4. Библиогр. 14 назв.

REQUIREMENTS FOR THE PREPARATION OF ARTICLES AND THE TERMS OF THEIR SUBMISSION

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 678 **Keywords**: Vineta LLC, ship equipment, small boats, polymer composite material, infusion, boat, boat

P.Yu. Petrov. Advantages of using polymer composite materials in the manufacture of small ships//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 11

A description of small-size vessels with a hull made of polymer composite material, created at VINETA JLC, is given. The advantages of vessels with such a hull are shown, including their strength, lower weight, durability and lower cost. T. 1. Fig. 4.

UDC 621.436 **Keywords**: variable pitch propeller, fixed pitch propeller, reversing characteristics, propeller, coast

L. I. Vishnevsky, A. R. Togunjac. Comparative reversing characteristics of a vessel equipped with a variable pitch propeller//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 13

The comparative characteristics of the emergency stop mode (crush stop) of the vessel, equipped alternately with fixed propellers (fixed pitch propellers) and variable pitch (pitch propellers), during its maneuvering are considered. The design features of the screws are given. It is shown that the stopping distance of a ship equipped with a pitch propeller is shorter than that of a ship with a pitch propeller. Equipping ships with a fixed pitch propeller is preferable for emergency braking of a vessel in comparison with the same vessel, but equipped with a fixed pitch propeller. Fig. 9. Bibliography 8 titles.

UDC 94/629.5 **Keywords**: Egorov Gennady Vyacheslavovich, history, influence, analysis, design, ship repair, shipbuilding, shipping

A. G. Egorov. Professor G. V. Egorov: Science and Practice//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 17

The path of formation and the results of the activities of the professor, doctor of technical sciences, laureate of the State Prize, member of the expert council of the Higher Attestation Commission G.V. Egorov as a prominent scientist and practitioner in the field of ship design, shipbuilding, ship repair and shipping. The main scientific and practical results of the activities of Professor G.V. Egorova, incl. in the international arena. The history of the creation of the Marine Engineering Bureau is given separately. Fig. 18. Bibliography 42 titles.

UDC 629.128 **Keywords**: ship repair, fishing fleet, dock repair, ship repair enterprises, service of ships, large-capacity, medium-capacity fishing vessels, problems of Russian ship repair, fishing industry.

G. S. Zverev, A. A. Yurtaev, O. S. Portnova. Ship repair of the fishing fleet in the Russian Far East: current situation and main problems//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 28

The paper deals with the issues of domestic fishing ship repair. The main shipbuilding and ship-repairing enterprises are highlighted, capable of performing a full range of work on servicing fishing vessels. The current system of servicing fishing vessels at domestic and foreign enterprises is considered, the dock capacities of the Far Eastern enterprises are calculated. T. 1. Fig. 2. Bibliography 6 titles.

UDC 621.436: 621.438 **Keywords**: navy, naval forces, surface warships, multipurpose ships, ship diesel engines, ship gas turbine engines, ship power plants, schematic design of power plants, partial electric motion, full electric motion

A. V. Shlyakhtenko, I. G. Zakharov, V. V. Baranovsky. Analysis of the feasibility of technical solutions in the formation of the appearance of power plants of promising ships//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 35

Based on a comparative analysis, the article shows the preference of using partial electric propulsion with diesel-electric torque transmission to the propeller on ships of the far sea and ocean zones. Fig. 5. Bibliography 6 titles.

UDC 629.12.8 **Keywords**: nuclear submarine, power plant (EP), water-cooled reactor, liquid-metal coolant, steam generating plant, steam turbine plant, air-independent power plant, unified gas turbine power plant

V.V. Zamukov, E.V. Sal'nikov, M.I. Romanova, V.A. Mikhailov, D.V. Sidorenkov. The main directions of work performed by the power engineering department of Malachite SPMDB JSC //Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 41

Malachite JSC SPMDB is a pioneer in the development and creation of the country's nuclear submarines. The first Russian nuclear submarine «Leninsky Komsomol», created and worked out by the bureau's specialists, opened the era of the Russian nuclear submarine fleet. In parallel with the water-to-water direction, the bureau develops installations with reactors on a liquid metal coolant (LMC). Today, only Malachite SPMDB with its counterparties owns the technology of plants with liquid iron in the primary circuit. Over the past 30 years, Malachite JSC SPMDB has carried out research on all existing types of air-independent power plants (AIP). Fig. 2.

UDC 629.5.067 **Keywords**: insulation, resistance, measurement, leakage current, control module, additional device winding

V. V. Fogel', I. V. Onorin, V.Yu. Selyakova, V. N. Grachev. An innovative approach to the calculation of the resistance of insulating materials in the windings of the remote control of static converters of ship systems for compensating electromagnetic fields// Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 43

A method for determining the resistance of insulating materials used in the windings of auxiliary devices (DU) included in the sectional shipboard systems for compensation of electromagnetic fields (SKEMP), based on the measurement of indirect parameters (current and voltage), is considered. This method makes it possible to optimize in time the process of determining the insulation resistance of live electrical circuits in order to improve the quality and reliability of the equipment for automatic control of the insulation of static converters in SKEMP. Fig. 2. Bibliography 3 titles.

UDC 62–522.2 **Keywords**: remotely controlled unmanned underwater vehicle (ROV), robotics, seven-degree deep-sea manipulator, hydraulic manipulator devices, kinematic calculation

V. S. Kozhevnikov, P. K. Smirnov. Calculation of the MGM-7 deep-water hydraulic manipulator. Part 1 //Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 47

A kinematic analysis of a hydraulic manipulator (MU) was carried out using the example of MGM-7. The working zones of the MU are reflected in the form of various flat sections. Fig. 3. Bibliography 3 titles.

UDC 629.12 037 **Keywords**: ship shafting, torsional vibrations, elastic coupling, rubber elements, heating temperature

V. K. Rumb, Htoo Naing Aung. Methodological foundations for determining the heating temperature of elastic couplings in the calculation of torsional vibrations of ship shafting//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 51

When calculating torsional vibrations of ship shafting, there is a problem of predicting the heating of elastic couplings. It is proposed to solve this problem on the basis of the balance of supplied and removed heat. T. 1. Fig. 3. Bibliography 4 titles.

UDC 621.225 **Keywords**: calculation, load, flow rate, pressure, cavity, section, liquid, piston

Yu. V. Kopytov, M. A. Shakhnov, A. N. Viktorov. Consideration and determination of the calculated ratios of the pressures in the cavities of the hydraulic cylinders of steering machines with throttle control//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 53

A theoretical analysis of the nature of the distribution of loads in the cavities of the hydraulic cylinder of the drive to the rudder stock has been carried out for the following chokes installation options: at the head, at the drain, at the head and at the drain at the same time. The results of the analysis make it possible to recommend the proposed method of loads in the elements of the hydraulic system and the choice of the optimal distribution of the pressure drop across the throttles.

UDC 62–135 **Keywords**: dynamics, engine, gas turbine, optimal parameters, overload

N. V. Babanin. Reducing the dynamic loading of a gas turbine engine (GTE) due to the installation of a dissipating elastic link (DUZ) with optimal parameters//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 56

Dynamic overloads in gas turbine engines are an urgent problem, since they lead to a decrease in the resource and reliability of the engine. In this regard, a dissipation-elastic link of the DUZ has been developed, thanks to which (according to calculations) it was possible to reduce the dynamic loading of the GTE shaft. T. 1. Fig. 10. Bibliography 15 titles.

UDC 536.63 **Keywords**: chemical composition, alloy, nickel, long-term strength, creep strength of alloys

A. Z. Bagerman. Predictive assessment of the limits of long-term strength, endurance, creep and mechanical properties of nickel-based alloys//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 62

An algorithm for calculating the chemical composition of a nickel-based alloy, its ultimate strength with a duration of up to 2000 hours, endurance up to a frequency of load fluctuations of 10 kHz, creep and mechanical properties is presented. The possibility of calculating the ultimate strength of nickel alloys at temperatures of 700–900 °C with a duration of operation of 100 hours and more is considered. T. 9. Bibliography 9 titles.

UDC 629.734.7: 519.8 **Keywords**: unmanned marine complex, experimental development technology, oh-board control system, test bench, intelligent control

A. G. Yureskul, A. N. Popad'in, V. S. Kashlakov, E. A. Sapozhkov, M. M. Eremeev. Basic technology to ensure the design and testing of unmanned marine complexes//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 65

Describes an approach to the creation of an integrated technological environment for ground tests, designed to control and check the components of assemblies and equipment as a whole, offshore unmanned commissioning and operation. The technology provides a qualitatively new level of automation of ground testing processes for equipment of marine crewless complexes based on new information technologies. Fig. 1. Bibliography 9 titles.

UDC 338.28 **Keywords**: infrastructure of spatial data of marine activities, mapping technology, object-oriented model of spatial data, 3D visualization, 3D mapping

A. A. Ryabov, O. D. Osipov, S. P. Burtny. Transition to the technology of 3D mapping of sea areas//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 69

The issues of the formation of spatial data infrastructure in the context of building information environments and mapping technology are considered. The implementation of an automated cartographic system of maritime activities on an object-oriented platform is presented. Fig. 8. Bibliography 12 titles.

UDC 656.61 **Keywords**: navigation safety, e-navigation, electronic cartographic navigation information system, integrated navigation system, navigation tasks

V. B. Sharikov. ECDIS «Bering»//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 76

The main features of the Bering electronic cartographic navigation information system developed by Sitronics KT JSC are briefly stated. The distinctive features of ECDIS «Bering» from traditional systems are given, its compliance with the concept of e-Navigation is indicated. Fig. 2. Bibliography 4 titles.

UDC 004.056.53 **Keywords**: mathematical model, confidential information, technical protection, information leakage channel, special means, Markov random process

V. G. Eryshov, R. D. Kulikov. Modeling of a system of technical protection of confidential information processed at protected objects of informatization of an enterprise//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 78

A mathematical model of the process of functioning of a system of technical protection of confidential information processed on a protected object of informatization in terms of the theory of Markov random processes is considered. This model can be used to assess the effectiveness of the system of technical protection of information of the object of informatization. Fig. 2. Bibliography 4 titles.

UDC 614.843 **Keywords**: system of complex assessment of the object's fire hazard; primary sources of information; multidimensional state vector; multivariate time series, prediction, singular value decomposition, singular spectrum analysis (SSA), multiple regression

A. V. Makshanov, V. A. Kolesnik, D. V. Bykov, E. N. Antonova. Application of identification algorithms for multidimensional chaotic time series when assessing a fire hazardous situation in ship premises//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P.82

The article is devoted to new methods of processing information coming from its primary sources into the software blocks of the system for the comprehensive assessment of the fire hazard of ship premises (SKPO) in the form of multidimensional chaotic time series. The implementation of these approaches is designed to increase the speed and reduce the likelihood of an erroneous decision in the implementation of the ship's fire safety. Fig. 8. Bibliography 25 titles.

UDC 929 **Keywords**: Concern Aurora SPA, «the era of V. V. Voytetsky», marine instrumentation, automated ship control systems

Yu. A. Gubanov. On the occasion of the 90th anniversary of the birth of V. V. Voytetsky//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 87

About the main stages of the life and multifaceted activities of Vitold Vitalievich Voytetsky, whose ninety anniversary is an important date for everyone who knew him, worked with him, communicated and made friends. The main milestones of the formation and development of V. V. Voytetsky as an engineer, scientist, leader, teacher. His life is inextricably linked with the Concern Aurora SPA, which he headed for 25 years and for which he managed to do so much. A brief overview of the development of Concern Aurora SPA during the period of V. V. Voytetsky. Fig. 8. Bibliography 3 titles.

UDC 629.5.073.4 **Keywords**: navigation in ice, operational safety, ice certificate, POLARIS, risk assessment

G. E. Egiazarov, V. V. Yakimov. Ensuring the safe operation of ships in ice conditions: challenges and opportunities of digital reality. Part 1//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 95

A detailed review of the current state of ensuring the safety of the operation of ships in ice conditions has been completed. The main approaches to its implementation used in practice are presented and investigated. Revealed and analyzed actual problems of development and application of regulatory documentation, identified priority ways of solving them. It is concluded that the risk-oriented methodology for ensuring the safety of the operation of ships in ice conditions and the on-board information systems built on its basis meet the challenges and opportunities of digital reality to the greatest extent. T. 2. Fig. 3. Bibliography 15 titles.

UDC 629.12 **Keywords**: differential pitching equations, static stability diagram, harmonic linearization, buoyancy, unsinkability

P. A. Schaub, A. A. Ulyashev. Assessment of the behavior of ships in modern storm conditions//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 101

The work is devoted to the study of the parameters of the roll of the vessel in difficult modern storm conditions. A system of differential equations for pitching has been derived, taking into account the nonlinearity of the static stability diagram, the presence of flooded compartments of all categories (1, 2, 3), pitching, nonlinearity, heel angle using harmonic linearization methods for any stability diagram that is recommended when assessing the capsizing of a ship's capsizing, taking into account mutual influence of pitch and roll angle. T. 2. Fig. 1. Bibliography 12 titles.

UDC 656.61.087 **Keywords**: search, rescue, individual rescue vehicle, collective rescue vehicle, personal emergency radio beacon

V. N. Ilyukhin, F. D. Vinogradov, N. A. Wal'dman, V. I. Tarovik. On improving the requirements for ship rescue equipment//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 104

The article discusses the need, based on the experience of rescuing people in distress at sea, to supplement the Rules of the Russian Register of Shipping (RS) with mandatory requirements for equipping individual life-saving appliances (ISS) (life jackets and immersion suits) with personal radio beacons, taking into account the sea areas of navigation to determine their location for search and rescue purposes. In the RS Rules, it is also advisable to define the procedure for the use of life-saving appliances and devices of a new type, providing a higher level of safety. T. 2. Fig. 4. Bibliography 9 titles.

UDC 656.614.32 **Keywords**: stack, tier, packaged timber, force, acceleration, moment

G. A. Pelekhov. Design models of fastening packaged sawn timber during transportation on an open deck of ships//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 110

Currently, there are normative methods for calculating the packaging and securing of cargo on the deck of the ship, however, numerous practical data on the destruction of stacks of stacked sawn timber confirm that these design schemes have many disadvantages and do not take into account a number of external influences. This does not allow for an accurate calculation of the behavior of the lumber stack and its anchorage on board. The article discusses the design models of fastening the packaged sawn timber transported on the deck of the ship. Bibliography 10 titles.

UDC 629.584 **Keywords**: autonomous unmanned underwater vehicle, bottom mooring device, survey of the water area

V. G. Danilova. Survey of the water area by several autonomous unmanned underwater vehicles based on one bottom mooring device//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 113

This article describes the option of using a bottom mooring device with the possibility of basing on it a group of autonomous unmanned underwater vehicles (two, three or more). Fig. 2. Bibliography 4 titles.

UDC 623.8. **Keywords**: Naval Academy, Department of Military Shipbuilding, faculty, students, research work.

V. N. Polovinkin, S. V. Fedulov, N. N. Mizirkina, A. A. Vasil'eva. Combining the theory and practice of military shipbuilding in the educational process of the Naval Academy during the Great Patriotic War//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 118

The article highlights the research and teaching activities of the Military Shipbuilding Faculty of the Naval Academy, aimed at generalizing the combat experience of the Great Patriotic War in the interests of the development of military shipbuilding. Fig. 6. Bibliography 18 titles.

UDC 658.51 **Keywords**: cultural heritage object (OKN), reconstruction, technical re-equipment, security elements of the OKN, floor zoning of premises, operational load, usable area of premises

A. V. Mikhailov, I. A. Alekseev. Organization of reconstruction and technical re-equipment of the cultural heritage site «Breakout plaza», which is part of Admiralty Shipyards JSC//Morskoy Vestnik. 2021. № 4 (80). P. 122

An increase in the productivity of the capacities of Admiralty Shipyards JSC with the introduction of modern technologies and an increase in the quality of products for the construction of competitive ships and vessels is considered. The restoration of the «Breakout plaza» includes research and technology of construction work, the result of which will be the restoration of the operability of structures and the provision of the installation of metalworking equipment in order to increase productivity by 15–20%. Fig. 4. Bibliography 14 titles.