

Морской



Вестник

№4(84)
декабрь

2 0 2 2

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



ЭРА

Санкт-Петербург

ЭлектроРадиоАвтоматика



100 лет

на службе Отечеству



100 ЛЕТ АО «ЭРА». ВРЕМЯ ПОДТВЕРЖДАЕТ НАШУ НАДЕЖНОСТЬ!

В.С. Татарский, ген. директор АО «ЭРА»,
контакт. тел. (812) 571 3919

В 1922 г. на базе ряда электротехнических предприятий была создана и зарегистрирована приказом ВСНХ № 405 Проектно-монтажная часть в составе Петроградского электромашиностроительного треста, правопреемником которой в дальнейшем и стало АО «Электрорадиоавтоматика», или АО «ЭРА».

В 20–30-е гг. XX в. предприятие выполняло ремонт электромеханизмов на кораблях, получивших повреждения во время Первой мировой и Гражданской войн, участвовало в строительстве легких крейсеров, торпедных катеров, подводных лодок.

В годы Великой Отечественной войны главной задачей, которую решало предприятие, было оборудование кораблей Балтийского флота противоминными размагничивающими устройствами, разработанными Ленинградским физико-техническим институтом, что позволило сохранить сотни судов, боевых кораблей и тысячи человеческих жизней. Помимо этого, в течение всей блокады Ленинграда в условиях голода, холода, постоянных бомбежек и артобстрелов сотрудники «ЭлектроРадиоАвтоматики» участвовали в ремонте и строительстве бронекатеров, ремонте надводных кораблей и подводных лодок, плашкоутов и барж.

После окончания войны предприятие, как и многие другие ленинградские заводы, получило задание на восстановление разрушенного города, в первую очередь жилых домов.

Начиная с 50-х гг. «ЭРА» – основной партнер судостроительных предприятий Северо-Западного региона РФ, выполняющий электромонтажные и регулировочно-сдаточные работы. С этого времени все корабли, как надводные, так и подводные, для ВМФ СССР, а затем и России, а также практически все гражданские суда, сошедшие со стапелей судостроительных заводов Ленинграда – Санкт-Петербурга, построены и сданы при непосредственном участии специалистов АО «ЭРА». В их числе – наиболее значимые для ВМФ России последних десятилетий:

– серия тяжелых атомных ракетных



Ледокол «Арктика»

крейсеров во главе с флагманом ВМФ РФ «Петр Великий» постройки Балтийского судостроительного завода;

- серии фрегатов, корветов, разведывательных кораблей, построенных на Северной верфи;
- серии дизель-электрических подводных лодок проектов 636 и 677 «Лада» постройки Адмиралтейских верфей;
- серии базовых тральщиков из стеклопластика пр.12700, построенных на Средне-Невском судостроительном заводе.

Предмет особой гордости АО «ЭРА» – это участие в создании атомного ледокольного флота России. При непосредственном участии нашего акционерного общества построены: атомный ледокол «Ленин» (1959 г.), атомные ледоколы «Арктика», «Сибирь», «Россия», «Советский Союз», «Ямал», «50 лет Победы» (1975–2007 гг.), атомные ледоколы «Таймыр» и «Вайгач» (1989–1990 гг.), плавучий атомный энергоблок «Академик Ломоносов» (2019 г.), атомные ледоколы нового поколения «Арктика», «Сибирь» и «Урал».

Сегодня АО «ЭРА» – современное динамично развивающееся электромонтажное предприятие численностью более 1450 человек. Головной офис расположен в самом центре Санкт-Петербурга, по адресу пер. Гривцова, д. 1/64. Отсюда осуществляется координация работы всего общества.

С каждым годом увеличивается насыщение кораблей различными управляющими системами, радиоэлектроникой, что приводит к росту объема электромонтажных работ и их сложности. Однако предприятие успешно справляется с ними благодаря гибкой производственной структуре, основу которой составляют электромонтажные подразделения – филиалы, находящиеся на ведущих судостроительных заводах Петербурга и Северо-Западного региона (Адмиралтейские верфи, Балтийский завод, Выборгский судостроительный завод, Северная верфь, Средне-Невский судостроительный завод, СФ «Алмаз»). Такая структура позволяет оперативно маневрировать материальными и трудовыми ресурсами, концентрируя их в нужном месте, в нужное время – на любом предприятии или строящемся заказе.

Столетняя история АО «ЭРА» неразрывно связана с историей российского кораблестроения и по сути является частью этой истории. Но кто стоял у его истоков и что послужило основой для создания в отечественном судостроении новой отрасли – судового электромонтажного производства? Ответы на эти вопросы дает старейший работник АО «ЭРА», заслуженный ветеран предприятия Евгений Александрович Губарев в своей статье (см. стр. 114). ■

Морской Вестник



№ 4 (84)

декабрь

2022

Morskoy Vestnik

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

А.Л. Кашин, председатель совета директоров
АО «НПО Завод «Волна»

В.С. Никитин, президент Международного
и Российского НТО судостроителей
им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. Туричин, ректор СПбГМУ

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»

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, председатель совета директоров
АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор
АО «Компрессор»

Н.В. Кулык, генеральный директор
АО «НПО Завод «Волна»

Г.Н. Муру, генеральный директор АО «51 ЦКТИС»

И.М. Мухутдинов, генеральный директор
ПАО «СФ «Алмаз»

О.А. Остапко, врио генерального директора
АО «Северное ПКБ»

А.Г. Родионов, генеральный директор
АО «Ситроникс КТ»

С.Я. Руденко, генеральный директор
АО «УК «Радиостандарт»

Е.А. Рылов, генеральный директор АО «ПКБ «РИО»

С.В. Савков, генеральный директор АО «Новая ЭРА»

В.А. Середохо, генеральный директор АО «СНЗ»

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»

С.Г. Филимонов, генеральный директор
АО «Концерн Морфлот»

К.Ю. Шилов, генеральный директор
АО «Концерн «НПО «Аврора»

А.В. Шляхов, генеральный директор
ООО «Морское Инженерное Бюро-СПб»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор
АО «ЦМКБ «Алмаз»

И.В. Щербаков, генеральный директор
ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

В. С. Татарский. 100 лет АО «ЭРА». Время подтверждает нашу надежность!... 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

А. В. Архипов, Д. В. Курочкин, Г. В. Дикарев, П. А. Лукашевич.
Обзор состояния ледокольных флотов Береговой охраны
и ВМС приарктических государств. Часть 1..... 7

О. В. Третьяков, Д. Ю. Литинский. Развитие эскадренных миноносцев
Военно-морских сил Народно-освободительной армии Китая. Часть 2..... 16

Ю. В. Дорогов, Б. П. Ионов. Основные понятия и принципы
функционирования системы электронной информационной
логистики конструкторского бюро судостроения 25

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

К. О. Будников. Обзор технологии изготовления и сборки
корпусных конструкций в мире 31

А. С. Мешков. Термическая обработка при освидетельствовании
и ремонте якорных цепей кораблей и судов: проблемы и пути решения 34

А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, Д. Е. Голубева, А. С. Доценко, В. А. Карпенко.
Инженерно-технологические аспекты разработки систем оценки
уровня акустического фона в судовых помещениях..... 37

В. П. Лянзберг, Н. М. Вихров. Иллюминаторы высокого давления –
учет взаимного смещения элементов в конструкции. Часть 2..... 41

М. Н. Григорьев, А. В. Лосик, С. А. Уваров, А. И. Фрумен. Анализ
технических решений синтеза и восстановления сложных военно-
морских систем с использованием возможностей декомпозиции..... 45

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

В. В. Барановский, П. Г. Печковский, А. В. Довличарова. Новые подходы
к использованию системы электродвижения на перспективных боевых
надводных кораблях. Часть 1..... 49

А. А. Горбачев, А. А. Иванов. Анализ применения комплексной
математической модели при проектировании ЯЭУ с жидкометаллическим
теплоносителем 55

А. В. Ивановская. Исследование поперечных колебаний элементов
буксирной лебедки..... 58

Н. С. Давыдов, Ю. В. Беляев, В. Н. Грачев. Решение задачи
импортзамещения на рынке систем судовой пожарной сигнализации..... 61

П. А. Зубков, К. А. Ефремов. Инновационные технические разработки
в области негорючих материалов и изоляционных покрытий и их влияние
на живучесть перспективных надводных кораблей 65

В. Г. Данилова. Алюминиево-серные аккумуляторы с соевым электролитом
для применения в морской технике..... 69

А. Н. Дядик, Н. П. Малых, К. В. Долгий. Разработка цифрового двойника
абсорбера в системе очистки конверсионного газа..... 72

Ю. В. Копытов. Анализ истории использования рулевых машин на кораблях
и судах 77



М.В. Куклин. Исследование виброакустических характеристик макета регулируемого дроссельного устройства на основе непроницаемой эластичной мембраны.....	79
Памяти А.А. Саркисова	81

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

В.А. Смирнов, Ю.Ф. Подоплёкин, А.Н. Рудаков. Нечеткая модель оценки состояния подсистемы передачи информации системы электропитания ответственных объектов	85
Б.В. Грек, С.Н. Сурин. Опыт разработки корабельных систем управления техническими средствами клиент-серверной архитектуры	89
А.Г. Родионов, В.В. Ефимов, Ю.Г. Тварин. Искусственный интеллект в судовождении – игра в имитацию? (По материалам зарубежных и открытых источников)	95
А.Я. Липидус, А.А. Кутенев, А.Ю. Петров. Структуризация процесса анализа оперативной информации оператором систем управления как основа для построения топологии интеллектуальных систем поддержки принятия решения	103
А.А. Жиленков, С.Г. Черный. Моделирование и применение киберфизического полигона для испытаний программно-аппаратных систем морского назначения	106

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

К.А. Смирнов, Н.Н. Пасевич, П.К. Смирнов. Усовершенствование технологий в разведке морских месторождений	111
---	-----

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

Е.А. Губарев. Из истории Санкт-Петербургского предприятия АО «Электрорадиоавтоматика»	114
В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, В.В. Соколов. снабжение Ленинграда по Ладожскому озеру в условиях блокады (8 сентября – 1 декабря 1941 г.)	118
Р.А. Соколов. Участие военно-морского флота в перенесении мощей Александра Невского в Санкт-Петербург в 1724 г.	121

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

VI отчетно-выборная конференция Российского научно-технического общества судостроителей имени академика А.Н. Крылова	124
--	-----

В АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Итоги совместного собрания Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Секции по судостроению Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга	127
---	-----

Главный редактор

Э.А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д.С. Глухов

Тел.: (812) 6004586

Факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г.Н. Антонов, д-р техн. наук

В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.

В.Э. Гель, канд. воен. наук, доцент

Е.А. Горин, д-р экон. наук

С.В. Дворников, д-р техн. наук, проф.

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

В.В. Кобзев, д-р техн. наук, проф.

Ю.Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф.

П.А. Кротов, д-р ист. 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. РАН

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.

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 № 1786

Дата выхода в свет – 09.12.2022

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 (84)

December

2022

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

A.L. Kashin, Chairman of the board of directors
JSC NPO Zavod Volna

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

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMD 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

N.V. Kulyk, General Director JSC NPO Zavod Volna

A.V. Kuznetsov, Chairman of the board of directors
JSC Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor

I.M. Mukhutdinov, General Director
JSC Almaz Shipbuilding Company

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostupko, v.p.o General Director
JSC Severnoye Design Bureau

A.G. Rodionov, General Director
JSC Sitronics KT

S.Ya. Rudenko, General Director JSC MC Radiostandart

E.A. Rylov, General Director JSC PKB RIO

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 Vypel

K.Yu. Shilov, General Director
JSC Concern SPA Aurora

A.V. Shlyakhov, General Director

JSC Marine Engineering Bureau SPb

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, Director JSC Pella shipyard

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director
JSC Pumori-north-west

ABSTRACTS

V.S. Tatarsky. 100 years of ERA JSC. Time confirms our reliability! 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

A. V. Arkhipov, D. V. Kurochkin, G. V. Dikarev, P. A. Lukashevich. Review
of the state of the icebreaker fleets of the coast guard and the Navy of the Arctic
states. Part 1 7

O. V. Tret'yakov, D. Yu. Litinsky. The development of destroyers of the Navy
of the People's Liberation Army of China. Part 2 12

Yu. V. Dorogov, B. P. Ionov. Basic concepts and principles of functioning
of the system of electronic information logistics of the design bureau of shipbuilding 25

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

K. O. Budnikov. Overview of the technology of manufacturing and assembling |
hull structures in the world 31

A. S. Meshkov. Heat treatment during the survey and repair of anchor chains
of ships and vessels: problems and solutions 34

A. E. Vasil'ev, A. V. Wegner, D. E. Golubeva, A. S. Dotsenko, V. A. Karpenko.
Noise level evaluation systems for the ship's spaces: engineering and technological
development aspects 37

V. P. Lyanzberg, N. M. Vikhrov. High pressure portholes – taking into account
the mutual displacement of elements in the structure. Part 2 41

M. N. Grigor'ev, A. V. Losik, S. A. Uvarov, A. I. Frumen. Analysis of technical
solutions for the synthesis and restoration of complex naval systems using
decomposition capabilities 45

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

V. V. Baranovsky, P. G. Pechkovsky, A. V. Dovlicharova. New approaches
to the use of the electric propulsion system on advanced combat surface ships. Part 1 49

A. A. Gorbachev, A. A. Ivanov. Analysis of the application of a complex
mathematical model in the design of nuclear power plants with a liquid metal coolant 55

A. V. Ivanovskaya. The study of transverse vibrations of the elements
of the towing winch 58

N. S. Davydov, Yu. V. Belyaev, V. N. Grachev. Solving the problem of import
substitution in the market of ship fire alarm systems 61

P. A. Zubkov, K. A. Efremov. Innovative technical developments in the field |
of non-combustible materials and insulating coatings and their impact on the
survivability of promising surface ships 65

V. G. Danilova. Aluminum-sulfur batteries with saline electrolyte for use
in marine technology 69

A. N. Dyadik, N. P. Malykh, K. V. Dolgiy. Development of a digital double
of an absorber in a conversion gas purification system 72

Yu. V. Kopytov. Analysis of the history of the use of steering gears
on ships and vessels 77



M. V. Kuklin. Investigation of vibroacoustic characteristics of a layout of an adjustable throttle device based on an impenetrable elastic membrane	79
In memory of A.A. Sarkisov	81

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

V. A. Smirnov, Yu. F. Podoplyokin, A. N. Rudakov. Fuzzy model for assessing the state of the information transmission subsystem of the power supply system of critical objects.....	85
B. V. Grek, S. N. Surin. Experience in the development of ship control systems for technical means of client-server architecture.....	89
A. G. Rodionov, V. V. Efimov, Yu. G. Creature. Artificial intelligence in navigation – a game of imitation? (Based on materials from foreign and open sources)	95
A. Ya. Lapidus, A. A. Kutenev, A. Yu. Petrov. Structuring the process of analyzing operational information by the operator of control systems as a basis for building a topology of intelligent decision support systems	103
A. A. Zhilenkov, S. G. Cherny. Modeling and application of a cyber-physical testing ground for software and marine hardware systems	106

WATER TRANSPORT OPERATION, WATER ROUTES AND HYDROGRAPHY

K. A. Smirnov, N. N. Pasevich, P. K. Smirnov. Improvement of technologies in exploration of offshore deposits	111
--	-----

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

E. A. Gubarev. From the history of the St. Petersburg enterprise «Elektroradioavtomatika» JSC.....	114
V. N. Polovinkin, S. V. Fedulov, V. V. Sokolov. Supply of Leningrad on Lake Ladoga under blockade conditions (September 8 – December 1, 1941).....	118
R. A. Sokolov. Participation of the Navy in the transfer of the relics of Alexander Nevsky to St. Petersburg in 1724	121

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

VI Reporting and election conference of the Russian scientific and technical society of shipbuilders named after Acad. A. N. Krylov.....	124
--	-----

IN THE ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

Results of the joint meeting of the Association of Shipbuilders of Saint-Petersburg and the Leningrad Region and the Shipbuilding Section of the Maritime Council under Government of Saint-Petersburg.....	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. V. Baranovsky, D. Sc., Prof.

V. I. Chernenko, D. Sc., Prof.

S. V. Dvornikov, D. Sc., Prof.

A. I. Gaikovich, D. Sc., Prof.

V. E. Gel, D. Sc., docent

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.

V. V. Kobzev, D. Sc., Prof.

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. Ilyichova

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

ПН № 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 elektronnoy 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 № 1786

Publication date – 09. 12. 2022

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

Арктика — важнейший стратегический регион и северная полярная область земного шара, которая охватывает весь Северный Ледовитый океан, примыкающие части Тихого и Атлантического океанов, а также окраины материков Евразии и Северной Америки в пределах полярного круга (66°33' северной широты).

Этот важнейший мировой регион, с его труднодоступными, но громадными природными ресурсами и при этом «буферным» положением между основными мировыми центрами, сегодня все более становится полигоном территориальной, ресурсной и военно-стратегической игры.

Один из самых важных ресурсов Арктики — углеводороды. Нефть, природный газ, газовый конденсат. Оценки углеводородных запасов Арктики, публикуемые разными странами мира, отличаются в разы, поскольку полноценных геологоразведочных работ на всех участках шельфа еще не проводилось. Основная проблема проведения таких работ, а, значит, и оценки резервов — это большие трудозатраты и, соответственно, их высокая стоимость.

Доминирует в структуре углеводородных запасов Арктики природный газ. Природного газа в Арктике, по данным ученых, около 1550 трлн кубометров. При этом почти все арктические запасы природного газа находятся у берегов России [1].

Помимо углеводородов, богатство недровых ресурсов Арктики составляют залежи драгоценных, редкоземельных и цветных металлов — золота, никеля, меди, вольфрама, урана, платины, палладия, молибдена и других. Здесь добывают алмазы, различные драгоценные камни, уголь и гипс.

Однако природные ресурсы Арктики сосредоточены не только в ее недрах. Например, здесь располагается ценнейший ресурс — запасы пресной воды, составляющие, по оценкам специалистов, до пятой части общемирового.

Ресурсы России в Арктике — это и сами территории, которые при современных климатических тенденциях к потеплению могут в скором времени оказаться пригодными и даже комфортными для жизни и хозяйственной деятельности человека. Нельзя забывать и о биологическом разнообразии региона.

Следует отметить, что добыча нефти и газа с океанского дна при наличии даже временного ледового покрова имеет очень серьезные технологические и финансовые риски, что делает рентабельность подобных проектов неочевидной. В последнее время одной из существенных (если не основной) причин зна-

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ЛЕДОКОЛЬНЫХ ФЛОТОВ БЕРЕГОВОЙ ОХРАНЫ И ВМС ПРИАРКТИЧЕСКИХ ГОСУДАРСТВ ЧАСТЬ 1

А.В. Архипов, д-р техн. наук,
зам. ген. директора по военному кораблестроению,
Д.В. Курочкин, канд. техн. наук, начальник отдела ВЭД,
Е.В. Дикарев, аналитик отдела ВЭД,
П.А. Лукашевич, переводчик отдела ВЭД,
АО «Северное проектно-конструкторское бюро»,
контакт. тел. (812) 702 3005

чительного роста интереса к освоению Арктики, причем не только в странах региона, но и в государствах, географически к Арктике не относящихся, стал природный феномен резкого сокращения ледового покрова Северного Ледовитого океана (вплоть до его полного таяния в летний период), что влечет за собой повышение доступности природных ресурсов и позволяет надеяться на возможность осуществления в обозримом будущем полноценной экономической деятельности в Арктике.

СФЕРЫ ВЛИЯНИЯ И ТЕРРИТОРИЯ ИНТЕРЕСА РАЗНЫХ ГОСУДАРСТВ

В арктической зоне расположены территории пяти приарктических государств: России, США, Канады, Дании, Норвегии. Еще два государства — Шве-

ция и Финляндия — имеют территории за полярным кругом, но не обладают выходом к береговой линии Северного Ледовитого океана, поэтому их не включают в число государств, претендующих на раздел континентального шельфа арктических морей. Следует отметить, что Дания, в состав которой входит на правах автономии Гренландия, является членом Европейского Союза, что позволяет ЕС также участвовать в новом переделе арктического пространства.

Исландия также не имеет прямого выхода в Арктику. Находясь на периферии Арктики, страна считается островом, расположенным преимущественно в Атлантическом океане. Таким образом, Исландия, Швеция и Финляндия расположены в непосредственной близости к Арктике, но не имеют своего «секто-



Рис. 1. Секторы ответственности приарктических государств в Арктике

ра», в отличие от пяти приарктических государств.

Высокая экономическая заинтересованность в регионе связана не только с доступом к его природным ресурсам, но и с трансарктическими коммуникациями, значительно сокращающими путь из Европы в Азию.

В настоящее время проведенные ранее в Арктике морские границы все более настойчиво оспариваются. Согласно международному праву, регулируемому Организацией Объединенных Наций (ООН), каждая страна может претендовать на расстояние до 200 морских миль от своего побережья, что называется «исключительной экономической зоной». В рамках международного сотрудничества в Арктике, кроме ООН, также действуют и другие межправительственные организации — Арктический совет, Северный совет, Совет Баренцева / Североарктического региона, что в значительной мере усложняет урегулирование спорных вопросов и проблем, связанных с Арктическим регионом.

На данный момент только две страны — Норвегия и Исландия — подали претензии относительно границ в Арктике, которые были одобрены ООН. Претензии России, Дании и Канады, которые во многом совпадают, еще ожидают своего решения. Таким образом, отсутствие признанной и нормативно оформленной демаркации морских пространств и шельфа лишь способствуют нарастанию геополитических и геоэкономических противоречий в регионе. Политизация и милитаризация арктического пространства под воздействием климатических изменений имеют немало элементов неопределенности в условиях наметившегося процесса сворачивания глобализации.

Значительный интерес к Арктике проявляют и те государства, территории которых весьма удалены от нее, а именно Китай, Индия, Япония, Южная Корея и другие. Арктический регион является местом пересечения интересов многих государств в силу его особого географического положения. Около двадцати пяти стран заявили о готовности разрабатывать месторождения на арктическом шельфе, в том числе страны БРИКС. К концу первого десятилетия XXI в. более 60 государств заявляли о своем желании принять участие в освоении Арктики [2].

Серьезные попытки проникновения в Арктику, в силу своих экономических и военных возможностей, сегодня предпринимает Китайская Народная Республика. Несколько лет назад упоминалось о том, что Китай намеревался приобрести у Исландии ее самый северный остров Колбейниси [3]. Площадь этого «острова» к тому времени составляла всего

несколько десятков квадратных метров, но поскольку он находится к северу от полярного круга, обладание им автоматически перевело бы Китай в разряд арктических стран и позволило бы ему претендовать на место в Арктическом совете, лоббируя там свои интересы. Тем не менее остров так и остался частью территории Исландии, а к настоящему времени он практически полностью разрушен благодаря волновой эрозии. По состоянию на август 2020 г. лишь два небольших его участка оставались видимыми во время отлива.

Китай выступает за интернационализацию Северного морского пути (СМП) и Северно-Западного прохода, в чем ее позиция согласуется с позицией США и противоречит позиции России и Канады.

Расширяет свое присутствие в Арктике и Южная Корея. Пока, правда, речь идет о научных работах. Но вместе с тем обсуждается создание совместного с Россией порта в Северном Ледовитом океане и запуск опытного проекта по транспортировке грузов в Европу через СМП с получением от России соответствующих разрешений и гарантий [4].

В декабре 2013 г. был принят комплексный план действий по реализации Национальной арктической политики Южной Кореи на 15 лет, предусматривающий, помимо прочего, разработку технологий глубинного бурения на арктическом шельфе и строительство морских судов полярного типа, включая ледоколы, и создание собственного ледокольного флота, имея конечной целью превращение Южной Кореи в мирового экспортера судов ледового класса.

ВОЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЗНАЧЕНИЯ РЕГИОНА

Арктический регион имеет важнейшее стратегическое значение для обеспечения обороноспособности России. Оно определяется в первую очередь тем, что именно через него проходят кратчайший воздушный маршрут, соединяющий Евразию и Северную Америку, а это означает, что воздушное пространство и ближний космос над Арктикой идеальны для нанесения ракетного удара как со стороны США, так и России вследствие минимизации времени полета ракет. Причем, если еще полвека назад такие удары могли наноситься лишь в ядерном варианте, то в настоящее время появилась возможность нанесения неядерных ударов, преследующих цели стратегического характера — по стратегическим ядерным силам посредством крылатых ракет морского и воздушного базирования. Основную роль в таком «обезоруживающем» ударе должны сыграть атомные подводные лодки, действия которых значительно облегчились в пос-

леднее время благодаря уже упомянутому факту таяния арктических льдов. Вместе с тем совершенно очевидно, что создание системы ПЛО, охватывающей всю Арктику, задача гораздо более сложная и дорогостоящая, чем строительство в Арктике системы ПРО, способной обнаруживать и уничтожать крылатые ракеты морского базирования.

После распада Советского Союза и до недавнего времени «борьба за Арктику» не выходила за рамки плоскости политической риторики, Арктика не рассматривалась как стратегически важный в военном отношении регион. Однако в начале января 2021 г. пресс-служба ВМС США опубликовала стратегический план «Голубая Арктика», в котором обозначены планы по развитию присутствия в регионе на следующие 20 лет. Название плана подразумевает, что из-за таяния морских льдов в регионе становится все больше судоходных вод, свободных от ледяного покрова.

В Программе обозначены три основных направления деятельности вооруженных сил в регионе:

- усиление передового присутствия с одновременным увеличением количества мероприятий оперативной и боевой подготовки;
- укрепление сотрудничества с другими странами, которое поможет снизить для всех нагрузку в обеспечении безопасности;
- создание флота, боеспособного в арктических условиях [5].

В указанном документе американские адмиралы в открытую определяют «правом и обязанностью» ВМС США «доминировать в качестве военно-морской силы в северных широтах», в том числе на судоходных путях, которые проходят в арктических акваториях, подконтрольных России [6].

Вместе с тем, американские военные признают, что в случае реальной эскалации напряженности и ее перерастания в стадию вооруженного конфликта ВМС страны столкнутся с серьезными проблемами, такими, как отсутствие пунктов базирования, точных навигационных карт метеорологических и гидрографических данных и как такового современного ледокольного флота.

Не вызывает сомнения, что составлен этот план в соответствии с поручением бывшего президента США Дональда Трампа, которое он дал Пентагону в июне 2020 г., когда потребовал «усилить американское присутствие в Арктике, чтобы противостоять там возможностям России и Китая», а также решить «весь спектр задач национальной и экономической безопасности, включая содействие разведке и эксплуатации ресурсов, а также прокладку и обслуживание подводных кабелей». Для решения этих за-

дач арктический военный флот США должен пополниться не менее чем тремя тяжелыми ледоколами, которые предполагается ввести в строй к 2029 г. [7].

Комментируя документ, министр ВМС США Кеннет Брейтуэйт сообщил, что корабли Соединенных Штатов и их союзников совсем скоро начнут регулярное патрулирование у российских берегов в Арктике, чтобы препятствовать «наступлению Москвы на Крайнем Севере».

Кеннет Брейтуэйт объяснил необходимость создания такого плана тем, что в связи с потеплением на Земле морские пути на Севере становятся судоходными и ВМС США «собираются гарантировать нашим партнерам свободу судоходства». Достигнуть этой цели планируется путем наращивания в Арктической зоне военно-морских и других сил и средств как непосредственно Соединенных Штатов, так и их партнеров по НАТО.

В стратегии «Голубая Арктика» также отмечается, что «меняющийся Арктический регион увеличивает потенциал для конкуренции и конфликтов. Открывающаяся Арктика представляет собой новую оперативную среду для военно-морских сил – открытое морское пространство. Быстро таяющий морской лед уже не ограничивается воздушными, подводными и стратегическими ударными возможностями, он расширяет доступ к Арктике для надводных судов – как пилотируемых, так и беспилотных. Влияние новых технологий, экономических факторов и конкуренции между крупными державами оказывает влияние на региональную безопасность и стабильность. Эти условия требуют, чтобы военно-морские силы соответствовали этой реальности».

О том, что США наращивают присутствие боевых кораблей в Арктике, говорил на итоговой коллегии Минобороны в декабре 2020 г. его глава Сергей Шойгу. По его словам, «военно-политическая обстановка в регионе осложняется из-за конкуренции ведущих стран мира за доступ к ресурсам и транспортным коммуникациям» [8].

Руководство вооруженных сил США исходит из того принципа, что присутствие в регионе приравнивается влиянию в нем, а потому в последние годы в Арктике усилилась оперативная и боевая подготовка флота и в ближайшее время можно ожидать лишь увеличения проводимых маневров и усиления присутствия, в том числе и с привлечением стран-партнеров США по НАТО.

Взгляды экспертов Пентагона свидетельствуют о необходимости более активного применения флота США в Арктическом регионе с целью защиты национальных интересов и своевремен-

ного реагирования на возникающие угрозы. В связи с этим полагается целесообразным наращивание интенсивности мероприятий оперативной и боевой подготовки в Арктике с применением не только подводных лодок, но и надводных кораблей, а также увеличения количества ледоколов и развития военной инфраструктуры региона.

СОСТАВ ЛЕДОКОЛЬНЫХ ФЛОТОВ СТРАН ПЯТИ ПРИАРКТИЧЕСКИХ ГОСУДАРСТВ

США

В настоящее время в государственной собственности США, в составе Береговой охраны, находятся два мощных ледокола – тяжелый «*Polar Star*» и средний «*Healy*», а также девять ледокольных буксиров водоизмещением порядка 670 т. Один ледокол полным водоизмещением около 3700 т, эксплуатируется на североамериканских Великих озерах («*Mackinaw*»). Кроме этого, у США имеется научно-исследовательское ледокольное судно «*Nathaniel B. Palmer*» (в собственности у компании Offshore Service Vessels LLC) и ледокол «*Aiviq*» (построен по заказу компании Shell для участия в арктических проектах концерна), который называют самым мощным ледоколом в мире, находящимся в частной собственности.

«*Polar Star*» эксплуатируется с 1976 г. (с 2007 по 2012 г. находился в

резерве), и о его состоянии говорит тот факт, что несколько лет назад США отказались от арктических учений, опасаясь выхода его из строя и вынужденной необходимости обращаться за помощью к России [9]. Ожидается, что с 2022 г. начнется период его активного вывода из эксплуатации. Систершип корабля – «*Polar Sea*», эксплуатировавшийся с 1977 г., выведен из эксплуатации в октябре 2011 г. Береговая охрана использует «*Polar Sea*» в качестве источника запасных частей для поддержания работоспособности «*Polar Star*».

«*Healy*» (построен в 1999 г.) – это прежде всего научно-исследовательское судно, дающее ученым возможность получать представление о биологическом разнообразии дна Северного Ледовитого океана, наблюдать за птицами и мегафауной в естественной среде (табл. 1).

В последние годы должностные лица, имеющие отношение к службе Береговой охраны США, ряд сенаторов и конгрессменов высказывали серьезную озабоченность по поводу малого количества и старения ледоколов, не позволяющего стране масштабной и ответственно заниматься арктическими и антарктическими вопросами. Подчеркивалось, что такое положение является угрозой национальной безопасности США, которые в этой сфере сильно отстают от России, и если не будут приняты своевременные меры, то страна на



Рис. 2. Тяжелый ледокол «*Polar Star*»



Рис. 3. Средний ледокол «*Healy*»

долгие годы может потерять свое влияние в указанных регионах. В связи с этим и в силу других причин, в июне 2020 г., президент США Д. Трамп подписал *Меморандум «Обеспечение национальных интересов США в Арктических и Антарктических регионах»*.

Документ определил меры и поставил задачи по разработке программы строительства, приобретения ледоколов, определил порядок, условия и полномочия соответствующих должностных лиц по ее выполнению.

В Меморандуме было отмечено, что «для защиты национальных интересов страны в Арктике и Антарктике и сохранения сильного и постоянного присутствия в этих регионах Соединенные Штаты вместе с союзниками и партнерами нуждаются в готовом, боеспособном флоте полярных ледоколов, который должен быть оперативно испытан и полностью развернут к 2029 финансовому году». Кроме того, отмечалась *возможность фрахтования иностранных судов этого класса до ввода в эксплуатацию собственных*. Подчеркивалось, что новая программа не должна помешать реализации уже принятых решений, где речь идет о постройке патрульных ледоколов прибрежного действия.

Американским чиновникам ставилась задача подготовить для главы государства исследование по созданию группировки из не менее чем трех тяжелых ледоколов. Представляется, что американская сторона планирует использовать по одному ледоколу в Арктике, Антарктике и для решения срочных задач. Кроме этого, планируется иметь еще три новых средних ледокола, ибо без них невозможно говорить о полноценном арктическом флоте.

Эти суда должны быть использованы при проведении разведки и добычи природных ископаемых, прокладке и техническом обслуживании подводных кабелей. На них планируется использовать беспилотные летательные, надводные и подводные аппараты, системы космической связи, оборонительное вооружение, специальное оборудование исключительно военного назначения, в том числе для сбора и передачи разведывательной информации, поддержания защищенной связи с ударными кораблями ВМС США, установкой различных видов радиопомех, обеспечения целеуказания. По существу это будут *военные корабли, приписанный к службе Береговой охраны США*.

В докладе предлагалось определить пункты базирования ледоколов: не менее двух на территории США и не менее двух за рубежом. По оценкам специалистов, на территории США это может быть новый порт в штате Аляска, где находятся большие запасы нефти на шельфе.

Основной зарубежный пункт базирования ледоколов может быть расположен на территории возобновляющей свою деятельность военно-воздушной базы в Кефлавике (Исландия) для контроля за судоходством на трассе СМП. В сентябре 2019 г. это островное государство посетил вице-президент США М. Пенс и анонсировал инвестирование в инфраструктуру базы 56 млн долл. США. Примечательно, что часть расходов планируется отнести на счет «союзников и партнеров».

Особое внимание было обращено на отбор стран-партнеров, имеющих судостроительные производственные мощности и доказанный опыт строительства ледокольного флота. США будут вынуждены обратиться к Канаде, Корее, Финляндии, Швеции, Германии, Польше, так как в настоящее время у них самих отсутствуют соответствующий технологический опыт и оборудование.

С приходом в Белый дом нового президента Джо Байдена реализация ледокольной программы, рассчитанная до 2029 г., была приостановлена, но при этом от строительства ледоколов Соединенные Штаты полностью не отказались.

В настоящее время в интересах Береговой охраны США реализуется программа *Polar Security Cutters (PSC)*, подразумевающая приобретение трех новых тяжелых ледоколов (heavy polar icebreakers). В последующем должна быть реализована программа строительства трех средних ледоколов (medium polar icebreakers) *Arctic Security Cutters (ASC)* [10].

Программа PSC ранее имела название PIB (Полярный ледокол). Изменение названия программы на PSC было сделано для того, чтобы привлечь внимание к тому факту, что полярные ледоколы Береговой охраны выполняют различные задачи, связанные с национальной безопасностью, а не только ледокольные работы.

Наиболее интересным в данной амбициозной программе является тот факт, что PSC — это не полностью американская разработка: Вашингтон решил использовать конструкцию *немецкого полярного исследовательского ледокола «Polarstern II»*, создав на его основе более современный корабль [11]. На Западе такой подход создания нового судна на основе существующего проекта носит название «родительского проектирования» (Parent design). Ключевая цель его использования — снижение затрат, сроков и технических рисков.

В пресс-релизе от 7 мая 2019 г. было объявлено о контракте (заключен в апреле 2019 г.) по программе Polar Security Cutters, согласно которому компания

VT Halter Marine объединила свои усилия с компанией Technologies Associates, Inc. (TAI), выбранной в качестве проектанта корабля.

Контракт предусматривает разработку рабочего проекта и дальнейшее строительство головного судна Polar Security Cutter на сумму 745 млн долл. США., а также строительство еще двух ледоколов. В случае его реализации, общая стоимость контракта составит 1,9 млрд долл. США, без учета стоимости оборудования.

Помимо TAI, VT Halter Marine также сотрудничает с компаниями ABB/Trident Maritime Systems — проектирование и производство движителей типа Azipod, Raytheon — интеграция систем управления и контроля, Caterpillar — проектирование и производство главных двигателей, Jamestown Metal Marine — выполнение монтажных работ и Bronswerk — системы кондиционирования и обогрева воздуха.

По оценкам, сделанным в 2020 г., общие затраты на приобретение трех ледоколов по программе PSC в ценах того года составляли 1038 млн долл. для первого корабля, 794 млн долл. для второго корабля и 841 млн долл. для третьего корабля, т.е. всего около 2,7 млрд долл. На настоящий момент проект сталкивается с некоторыми проблемами полного финансирования — средства пока выделены только на два корабля [12]. Получение контракта на строительство второго ледокола было анонсировано компанией 30 декабря 2021 г. [13].

По плану строительства головной корабль должен быть передан заказчику в 2024 г., второй — в 2025 г., третий — в конце 2027 г. По другим данным, в настоящее время сроки сдачи головного корабля уже сдвинуты на весну 2025 г.

24 февраля 2022 г. было объявлено, что головной корабль получит имя «Polar Sentinel» [14].

Тяжелый ледокол, создаваемый по программе Polar Security Cutter будет иметь длину 140,2 м, ширину 26,8 м и полное водоизмещение 22 900 т. Судно будет иметь дизель-электрическую ГЭУ мощностью более 45 200 л.с.

Сравнительно небольшая мощность ГЭУ, по заявлениям создателей ледокола, компенсируется особенностью формы корпуса и необычной конструкцией пропульсивного комплекса — помимо двух Азиподов ледокол будет иметь и традиционный гребной винт, расположенный в диаметральной плоскости. Это должно обеспечить судну значительную ледопробиваемость, даже лучшую, чем у более мощных ледоколов. Заявляется, что тяжелый ледокол должен иметь способность преодолевать лед толщиной до 2,4 м на скорости 3 уз



Рис. 4. Проектное изображение тяжелого ледокола, создаваемого по программе Polar Security Cutter



Рис. 5. Модель тяжелого ледокола, создаваемого по программе Polar Security Cutter. Хорошо видны два Азипода и винт в диаметральной плоскости судна Канады

става вооружения корабля). Корабли будут оснащены поисковыми РЛС наблюдения за надводной и воздушной обстановкой, а также средствами связи для обмена информацией с другими кораблями (судами) и самолетами министерства обороны, Береговой охраны, Национального управления исследований океана и атмосферы и Национального научного фонда. Полярные ледоколы будут построены в соответствии с военными и гражданскими стандартами (табл. 1).

Следует отметить, что для такой мощной в промышленном отношении страны, как США, очень странно довольствоваться дизель-электрическими силовыми установками. Можно предположить, что создать ядерный ледокольный флот Вашингтону мешают не технологические, а скорее, чисто политические и юридические причины. По большей части проблема заключается в нормативных требованиях. Многие порты не решаются принимать у себя суда с ядерной силовой установкой из-за чрезмерной озабоченности по поводу экологической безопасности.

Канада

Обладая одной из самых больших территорий, расположенных в Арктике, Канада активно разрабатывает государственную стратегию национальной безопасности для Крайнего Севера, при этом стремясь развивать региональное военное взаимодействие. В состав ее Береговой охраны сегодня входит значитель-

Таблица 1

ТТХ ледокольных судов США

Главные размеры, L x B x T, м	Водоизмещение полное, т	Вооружение	Авиационное вооружение	ГЭУ, тип, мощность	Скорость на чистой воде, уз	Дальность плавания, мили / скорость, уз	Экипаж, чел.	Ледопродоходимость, м / скорость, уз
«Polar Star»								
121,6×25,6×9,8	13 402	Два пулемета [15]	2 вертолета МН-65 или 1 вертолет МН-60	CODLOG 6 дизель-генераторов (21 000 л.с.); 3 газовые турбины (60 000 л.с.); 3 эл. двигателя (18 000 л.с.)	20	Около 28 300 / 13	134	1,8 / 3
«Healy»								
128×25×8,9	16 663	Отсутствует	2 вертолета МН-65 или МН-60	Дизель-электрическая 4 дизеля (42 400 л.с.); 2 эл. двигателя (30 000 л.с.)	17	16 000 / 12,5	71, 45 научных сотрудников	1,4 / 3
Тяжелый ледокол по программе Polar Security Cutter (ориентировочные данные)								
140,2×26,8× ?	22 900	1×25-мм АУ Mk-38	ВПП и ангар для вертолета	Дизель-электрическая Более 45 200 л.с.	15	21 500 / 12,5	186	2,4 / 3

и работать в течение 90 дней без пополнения запасов.

Упомянутые средние ледоколы должны преодолевать лед толщиной не менее 1,4 м на скорости 3 уз и работать в течение 80 дней без пополнения запасов.

Боевая информационно-управляющая система PSC спроектирована на основе БИУС Aegis. При этом береговая охрана еще не приняла решения отно-

сительно состава оружия, которым будут вооружены ледоколы. Указывается лишь, что оба типа ледоколов (тяжелый и средний) должны быть способны обороняться от надводных сил противника посредством сменных систем оружия. Кроме этого, они могут быть оснащены дополнительными средствами обнаружения и системами оружия (вероятно речь идет о модульных построениях со-

ное количество ледокольных судов различного назначения. Вооружения они не несут, но могут осуществлять функции наблюдения и разведки, проводить спасательные операции, вести мониторинг окружающей среды и т.д.

Основные приоритеты политики Канады в Заполярье лежат в сфере обеспечения устойчивого социально-экономического и экологического развития это-

го региона. Действующая Арктическая стратегия Канады имеет скорее внутреннюю, чем внешнюю, направленность и заключается в реализации следующих положений:

- обеспечение защиты суверенитета в данном секторе за счет наращивания военного присутствия для усиления контроля над сухопутными территориями, морским и воздушным пространствами Арктики;
- содействие социально-экономическому развитию северных территорий за счет ежегодных дотаций на социальные сферы в размере 2,5 млрд долл., главными источниками благосостояния в ближайшей перспективе рассматриваются разработка нефтегазовых месторождений и добыча алмазов;
- защита окружающей среды и адаптация к изменениям климата, переход на источники энергии, которые не сопровождаются выбросами углерода в атмосферу, участие в создании международных стандартов, регулирующих хозяйственную деятельность в Арктике;
- развитие самоуправления, хозяйственной и политической активности северных территорий как части политики по освоению Севера.

Оттава стремится к разрешению противоречий с другими странами по вопросу определения положения границ в Заполярье. Так, создана совместная с Данией рабочая группа по урегулированию двусторонних территориальных споров. Основной задачей нового органа является выработка рекомендаций по устранению разногласий, касающихся определения национальной принадлежности о. Ханс (пролив Кеннеди), спорных акваторий в море Линкольна и континентального шельфа в море Лабрадор.

В рамках разработки новой арктической стратегии правительство Канады в сентябре 2019 г. опубликовало рамочный документ, определяющий политику государства в Арктике и северных районах страны до 2030 г. [16].

Трудности у канадского флота те же, что и в США: устаревание существующих ледоколов и отсутствие финансирования на строительство новых. Планы по модернизации своего ледокольного флота Канада пыталась реализовать уже в середине 80-х гг. прошлого века. Но из-за экономического кризиса 1990-х об этом на время забыли.

На текущий момент в план постройки новых судов включен ледокол «*John G. Diefenbaker*» (назван в честь бывшего премьер-министра Канады Джона Дифенбакера).

Этот ледокол сможет обслуживать Арктический регион Канады и прилегающие к нему воды в течение трех се-

зон на большей акватории и в более сложных ледовых условиях, чем имеющиеся в составе флота корабли и суда – он будет иметь ледовый класс Polar Class 2 Icebreaker (+).

В ходе проектирования судна было предложено сразу несколько вариантов пропульсивного комплекса. В итоге Береговая охрана Канады отдала предпочтение комбинированной системе: традиционной двухвальной дизель-электрической установке и одной винторулевой колонке Азипод мощностью, также предусмотрено два носовых подруливающих устройства. Новое судно будет оснащено системой воздушной смазки корпуса, снижающей трение льда.

В 2008 г. правительство Канады объявило о выделении на его строительство 668,6 (по другим данным 721) млн долл., но фактически из-за отсутствия финансирования начало работ постоянно откладывается. Первоначально предполагалось, что ледокол будет передан флоту в 2017 г., затем – в 2021–2022 гг. В настоящее время срок сдачи значительно продлевается. Ранее было объявлено, что корабль будет строить компания Seaspan Marine Corporation в рамках Национальной стратегии закупок судостроения. Тем не менее на данный момент сроки и место его строительства окончательно не определены. В февра-

ле 2020 г. федеральное правительство обратилось ко всем заинтересованным канадским судостроительным верфям с просьбой обозначить их потенциал для строительства ледокола с целью обеспечения его ввода в эксплуатацию к декабрю 2029 г.

В последнее время в открытых источниках появились сообщения, что предполагается постройка двух ледоколов типа «*John G. Diefenbaker*». Вместе с тем по состоянию на август 2022 г. так и не было объявлено о закладке головного корабля.

Таким образом, к настоящему времени в составе сил Береговой охраны Канады имеется всего два тяжелых ледокола «*Terry Fox*» и «*Louis S. St-Laurent*», которые были введены в эксплуатацию в 1983 и 1969 гг. соответственно. Ожидается, что «*Louis S. St-Laurent*» будет выведен из эксплуатации в 2030 г., а «*Terry Fox*» в 2032 г. [17].

Помимо двух тяжелых имеются еще три средних ледокола, которые были введены в состав флота в конце 70-х – начале 80-х гг., один средний ледокол, построенный в 1988 г., и еще три судна, приобретенные Канадой у Норвегии в 2018 г. (построены в 2000–2001 гг., как суда для заводки якорей).

Одновременно активно реализуется программа строительства арктичес-



Рис. 6. Ледокол «*Louis S. St-Laurent*»



Рис. 7. Ледокол «*Terry Fox*»

ких патрульных ледоколов прибрежной зоны *типа «Harry De Wolf»* для военно-морских сил.

В январе 2015 г. правительство Канады заключило контракт на 1,76 млрд долл. США с Irving Shipbuilding Inc. на постройку пяти арктических патрульных ледоколов. В декабре 2018 г. стороны подписали дополнительное соглашение на поставку еще одного корабля этой серии.

Головной арктический патрульный ледокол типа *«Harry De Wolf»*, давший название всей серии, был введен в эксплуатацию 27 июня 2021 г., хотя официально вошел в состав Королевского флота Канады годом ранее. Он стал самым крупным кораблем, построенным в Канаде за последние 50 лет (табл. 2).

Вошедший в состав флота 17 июля 2021 г. первый серийный ледокол *«Margaret Brooke»*, после прохождения серии испытаний был официально введен в эксплуатацию в октябре 2022 г. Второй корабль *«Max Bernays»* предполагается ввести в эксплуатацию в конце 2022 г., а оставшиеся три ледокола должны ввести в строй до 2025 г. [18].

Шесть патрульных кораблей типа *«Harry De Wolf»*, на взгляд правительства Канады, серьезно расширят возможности флота по выполнению задач в Канадском арктическом архипелаге, обеспечив задачи наблюдения и разведки. Они также призваны защитить суверенитет страны и полностью контролировать Северо-Западный проход, который Ка-



Рис. 10. Ледокол Береговой охраны Канады *«Henry Larsen»* постройки 1988 г.



Рис. 11. Проектное изображение ледокола *«John G. Diefenbaker»*



Рис. 8. Арктический патрульный корабль *«Harry De Wolf»*



Рис. 9. Схема основных элементов вооружения и оборудования патрульных кораблей типа *«Harry De Wolf»*

нада, в отличие от США, считает своей национальной транспортной артерией и исключительной экономической зоной своего государства.

При этом нужно отметить, что тактико-технические характеристики и вооружение поступивших в состав сил Береговой охраны Канады патрульных ледоколов весьма скромны.

Имея водоизмещение 6400 т, корабли могут преодолевать лед толщиной всего в 1 м на скорости 3 уз. Ледоколы оснащены дизель-электрическими ГЭУ, позволяющими развивать на чистой воде скорость до 17 уз. Дальность хода при средней скорости в 14 уз составляет 6800 миль. Автономность корабля – четыре месяца, вероятно рассчитана на навигационный период в Арктике. Экипаж – 65 человек. Также на борту могут разместиться дополнительно еще 20 человек. В открытых источниках указывается, что это будут спасатели или участники научных экспедиций.

Вооружение корабля – 1 автоматическая 25-мм артиллерийская установка ВАЕ МК38 и два пулемета М2 Browning, а также вертолет CH-148 или CH-146. Также на борту предусмотрено место для размещения шести 20-футовых контейнеров, различного специаль-

ТТХ ледокольных судов Канады

Главные размерения, L x B x T, м	Водоизме- щение полное, т	Вооружение	Авиационное вооружение	ГЭУ, тип, мощность	Скорость на чистой воде, уз	Дальность плавания, мили	Экипаж, чел.	Ледопроеходимость, м / скорость, уз
«Louis S. St-Laurent»								
119,7×24,4×9,8	14 733	Отсутствует	2 легких вертолета	Дизель-электрическая 5 дизелей (39 400 л.с.); 2 эл. двигателя (27 000 л.с.)	20	23 000 на скорости 16 уз	До 99	? / ?
«Terry Fox»								
88,0×17,9×8,3	7214	Отсутствует		CODAD 4 дизеля (23 200 л.с.)	16	20 000 на скорости 13,5 уз	До 44	1,2 / 3
Патрульные корабли типа «Harry DeWolf»								
103,6×19,0×5,75	6400	1×25-мм АУ 2×12,7-мм пулемета	1 вертолет CH-148 или CH-146	Дизель-электрическая 4 дизель-генератора (19 310 л.с.); 2 эл. двигателя (12 069 л.с.)	17	6800 на скорости 14 уз	65 + 20 до- полнитель- ных мест	1 / 3
«John G. Diefenbaker» (ориентировочные данные)								
150,1×28×10,5	23 500	Отсутствует	2 средних вертолета	Дизель-электрическая 6 дизель-генераторов (53 103 л.с.); 2 эл. двигателя (29 502 л.с.)	20	26 200 на скорости 12 уз	60 + 40 человек научного персонала	2,5 / 3

ного оборудования (предположительно, включая разведывательное) и технических средств, таких как катера (до семи единиц, включая 12-метровый десантно-высадочный катер, специально разработанный для этого корабля), квадроциклы, снегоходы и т.п. [19].

Командующий канадским флотом вице-адмирал Арт Макдональд, говоря об универсальности патрульного ледокола, отметил, что он сможет выполнять различные задачи, включая оказание гуманитарной помощи и участие в спасательных операциях в случае стихийных бедствий [20].

Командование ВМС Канады заявило, что данные корабли не предназначены для ведения боевых действий и что их основная задача — выполнение полицейских и пограничных функций. Это заявление насторожило США. Они целенаправленно готовят Канаду к противостоянию российской экспансии в Арктике, а Канада намерена защищать только свои воды. Изначально было ясно, что канадские патрульные корабли ледокольного класса не собираются, как заявляли кораблестроители, выполнять задачи во всех арктических широтах. Они априори, исходя из своих технических характеристик, этого сделать не могут.

Таким образом, следует отметить, что возможности Канады самостоятельно строить патрульные ледоколы весьма ограничены, и при этом отсутствуют силы и средства на полноценное обновление своего ледокольного флота. Между тем в прессе периодически появляется информация о намерениях ВМС Канады приобрести патрульные корабли арктического прибрежного плавания (AOPS — arctic and offshore patrol vessel). Главными задачами AOPS ледового плавания с вооружением на бор-

ту будет проведение патрулирования в исключительной экономической зоне Канады, с акцентом на Аарктический регион, обеспечение освещения обстановки, а также защита государственного суверенитета. Называются довольно крупные серии кораблей — до восьми единиц.

Дания

Руководство Дании последовательно предпринимает шаги по укреплению позиций государства в Арктике, задействуя при этом весь комплекс политических, экономических и военных ресурсов.

Датские интересы в регионе основываются прежде всего на ее стремлении к получению новых источников пополнения государственного бюджета. Несмотря на наличие разногласий с другими странами региона по вопросу делимитации территорий, Дания готова наладить диалог, не вступая при этом в открытое противостояние за возможность использования спорных ресурсов. Копенгаген выделяет значительные средства на проведение экспедиций в Северном Ледовитом океане и реализацию научных программ. Так, в интересах подтверждения национальных претензий на участки континентального шельфа ведутся активные исследовательские работы в высоких широтах [21].

В октябре 2012 г. было создано Арктическое командование со штаб-квартирой в Нууке (Гренландия). Арктическое командование является военным оперативным командованием, основными задачами которого являются защита Гренландии и Фарерских островов, охрана территориальных вод, рыбная инспекция, поиск и спасение. Кроме того, в их задачу входит борьба с загрязнением окружающей среды.

Зона ответственности Дании в регионе простирается от вод Фарерских островов в Восточно-Гренландском море и Северного Ледовитого океана на севере до Датского пролива и моря Ирмингера, пролива Дейвиса и моря Баффина между Канадой и Гренландией.

В феврале 2021 г. Министерство обороны Дании подтвердило заключение рамочного соглашения между представленными в парламенте партиями об укреплении присутствия государства в регионах Арктики и Северной Атлантики, а также выделение на эти цели 244,37 млн долл. США. Об этом сообщалось в пресс-релизе ведомства.

Представляя документ, министр обороны Трине Брамсен заявила в интервью телеканалу ТВ2: «Мы видим, что Россия массово вооружается. Мы хотим сохранить этот регион как зону низкого напряжения, где нет конфликтов. Вот почему этот новый мониторинг важен для сдерживания». Так, обвиняя Москву, Копенгаген активно включился в милитаризацию Арктики в тесном сотрудничестве с другими западными странами [22].

Состав ледокольного флота Дании при этом абсолютно не соответствует амбициозным устремлениям государства — всего три «арктических патрульных корабля» («arctic patrol ship») типа «*Knud Rasmussen*». Первые два вошли в состав флота в 2008-2009 гг., а третий — в 2016 (заказ на него был утвержден датским парламентом в 2013 г.).

Корабли типа «*Knud Rasmussen*» предназначены для действий у берегов Гренландии, спроектированы на ледовый класс 1А (в соответствии с правилами DNV), имеют улучшенную мореходность, но могут преодолевать лед толщиной всего лишь 0,7 м. ГЭУ

– дизельная. Применена одновальная схема.

Корабли имеют вертолетную палубу на корме за надстройкой, однако ангар не предусмотрен. Могут выполнять дозаправку вертолета. В кормовой части имеется ангар со слипом для спасательного катера, созданного по типу известного шведского многоцелевого катера «Strb 90H» (также известен как CB90 – Combat Boat 90), который строится в разных модификациях, включая штурмовой катер, полицейский, катер управления, поисково-спасательный и т.д. Первые многофункциональные катера «Strb 90H» были переданы ВМС Швеции в 1991 г. [23].

Стандартное вооружение корабля состоит из двух 12,7-мм пулеметов. В дополнение к ним имеются слоты системы StanFlex. Эта система была задумана в 80-х гг. прошлого века как способ заменить несколько типов специализированных кораблей одним, оперативно переоборудуемым.

В состав системы входит вооружение и оборудование, размещаемое в стандартных контейнерах, которые загружаются на корабль на специально предназначенные места, называемые слотами. Разработаны модули ПКР, ПВО, артиллерийский, ГАС, модуль с крановым оборудованием и ряд других. Все современные корабли датского флота проектируют исходя из концепции данной системы. На патрульных кораблях типа «Knud Rasmussen» преду-



Рис. 12. Патрульный корабль «Lauge Koch» (третий корабль типа «Knud Rasmussen»). Хорошо виден колпак РЛС – его основное внешнее отличие от кораблей серии



Рис. 13. Спасательный катер заходит в ангар корабля типа «Knud Rasmussen»

ТТХ патрульных кораблей арктического плавания Дании

Таблица 3

Главные размеры, L x B x T, м	Водоизмещение полное, т	Вооружение	Авиационное вооружение	ГЭУ, тип, мощность	Скорость на чистой воде, уз	Дальность плавания, мили	Экипаж, чел.	Ледопроеходимость, м / скорость, уз
Арктические патрульные корабли типа «Knud Rasmussen»								
71,8×14,6×4,95	2050	2×12,7-мм пулемета Модули системы StanFlex различного назначения	ВППЛ для одного среднего вертолета	CODAD 2 дизеля (7300 л.с.)	17	3000	18+25 дополнительных мест	0.7 / ?
Фрегаты типа «Thetis»								
112,5×14,4×6,0	3556	1×76-мм АУ 2×12,7-мм пулемета. Глубинные бомбы. Имеются слоты системы StanFlex	1 вертолет МН-60R	CODAD 3 дизеля (10800 л.с.)	20	8500 на скорости 15,5 уз	60+30 дополнительных мест	0.8 / 12 [25]

смотрено два слота StanFlex, а также (по некоторым данным) резервированы места еще под два слота по борту в кормовой части. Судя по фотографии, на которых корабли запечатлены с носовым 76-мм АУ, это как раз установленный «артиллерийский» модуль [24].

Третий корабль серии «Lauge Koch» внешне отличается от двух остальных – РЛС расположена под радиопрозрачным колпаком. Кроме того, в ходе его строительства учитывался опыт эксплуатации первых двух кораблей серии, что позволило внести качественные изменения в конструкцию и компоновку бортовых

систем. Также на новом корвете установлена навигационная система цифровой картографии, технические средства подводной съемки, современное оборудование для проведения широкого спектра научных исследований.

Следует также отметить, что в составе ВМС Дании имеется четыре фрегата типа «Thetis» (вошли в состав флота в 1991–1992 гг.) Эти корабли при полном водоизмещении 3556 т имеют ледовые подкрепления корпуса, позволяющие им преодолевать лед толщиной до 80 см. Предназначены в первую очередь для охраны рыболовства и экономической зоны в Северной

Атлантике. Стандартное вооружение кораблей – 76-мм артиллерийская установка, но также имеются слоты уже упомянутой системы StanFlex. Имеют подруливающие устройства, в том числе азимутальные, которые могут использоваться как резервные движители (скорость при их использовании – до 8 уз). Главная энергетическая установка состоит из трех дизельных двигателей, работающих на один гребной вал. «Thetis», помимо патрульных функций, используется для проведения сейсмологических исследований у берегов Гренландии. ■

Продолжение следует

В китайских военно-технических изданиях упоминается, что одним из наиболее важных достижений в создании эскадренного миноносца четвертого поколения является интегрированная башенно-мачтовая конструкция (ИБМК), отработка размещения элементов радиоэлектронных средств в которой и их испытания проводились на натурном макете (рис. 10).

Интеграция необходимого количества антенных постов может осуществляться следующим образом. Каналы обнаружения и соответствующие каналы систем управления оружием объединяются в одной или нескольких активных фазированных антенных решетках (АФАР), каналы пассивного обнаружения совпадающих диапазонов реализуются на единых пассивных ФАР, оптоэлектронные каналы – на гиросtabilизированных платформах. Такой подход позволяет решить задачи электромагнитной совместимости и живучести РЭВ, снижения его массогабаритных характеристик, а также уменьшения количества обслуживающего личного состава [3].

Летом 2011 г. в Генеральном штабе НОАК с участием командования и научно-исследовательских организаций ВМС и промышленности прошли совещания по проблемным вопросам создания эскадренного миноносца (пр.055), авианосца с катапультным стартом самолетов (пр. 002) и атомной ракетной подводной лодки стратегического назначения (пр. 092), на которых были приняты решения об использовании «общих технологий в боевых и электронных системах эсминца и авианосца».

Принятие такого решения и постановка задачи по пересмотру исходных технических требований стало основанием для выполнения в сжатые сроки большого объема работ по стандартизации. НИИ корабельного радиоэлектронного вооружения (НИИ-14) поручили откорректировать и переработать для повышения эффективности проектных работ действовавшие военные стандарты и разработать новые (в частности, «Единые технические требования к корабельному интегрированному комплексу радиоэлектронного вооружения» и общие технические требования к интегрированной системе обработки информации). По опубликованной на веб-сайте НИИ-14 информации, главным конструктором интегрированного комплекса РЭВ для корабля пр. 055 был назначен Xing Wenge – лауреат премии министерства электронной промышленности КНР, главный конструктор МФРЛК Н/ЛJ346 для эсминца пр. 052С.

В качестве меры, направленной на снижение общей стоимости НИОКР

* Окончание. Начало см. «Морской вестник», 2022, №3 (83)

РАЗВИТИЕ ЭСКАДРЕННЫХ МИНОНОСЦЕВ ВОЕННО-МОРСКИХ СИЛ НАРОДНО-ОСВОБОДИТЕЛЬНОЙ АРМИИ КИТАЯ ЧАСТЬ 2*

О.В. Третьяков, д-р техн. наук, капитан 1 ранга, начальник,
Д.Ю. Литинский, науч. сотрудник,
НИИ кораблестроения и вооружения ВМФ ВУНЦ ВМФ
«Военно-морская академия»,
контакт. тел. (812) 405 0706



Рис. 10. Натурный макет надстройки эсминца пр. 055 на испытательном полигоне в Ухани

и проектных работ, был принят новый стандарт разработки и определения стоимости программного обеспечения для электронных боевых систем. Принятые к тому времени министерством обороны КНР и введенные в действие нормативные документы регламентировали процессы, но не затрагивали финансово-экономические составляющие.** По мнению государственного заказчика, в новых условиях, когда стоимость разработки «боевого» программного обеспечения для корабельного РЭВ назначается отдельно, стимул для его разработчика повышается.

Очевидно, что при формировании ТТЗ на проектирование корабля размещение требуемой номенклатуры и количества боезапаса и, следовательно, линейные размеры отсека, предназначенного для размещения универсальной УВП, оказывают не меньшее влияние на главные размерения, чем тип и схема ГЭУ и требования к взаимному расположению радиоэлектронных средств. С появлением в китайской военно-технической периодике первых изображений предполагаемого облика эсминца пр. 055 наибольшее внимание западных «экспертов» уделялось подсчетам общего количества ячеек УВП и их расположению.

** «Правила управления проектами военного программного обеспечения», «Правила разработки программного обеспечения военного назначения», «Правила разработки для оборудования ВМС».

В некоторых 3D визуализациях эсминца пр. 055 (вероятно, по мотивам реальных проектных проработок) присутствует целенаправленная техническая дезинформация: например, изображение РЛС с механическим сканированием или гребных электродвигателей. В то же время состав и расположение оружия и вооружения практически на всех технически грамотных визуализациях соответствовал реальному (рис. 11).

Перечисленное, кроме величины водоизмещения, подтверждалось ранее доступными сведениями и логически укладывалось в концепцию развития пр. 052D, целью информационного «вброса» являлось отвлечение внимания от главного – интегрированной многофункциональной системы контроля верхней полусферы и управления оружием.

Вторым по значению принципиальным решением был выбор универсальной установки вертикального пуска (УВП) модульной конструкции для всей номенклатуры боезапаса.

Незавершенная разработка собственной зенитной управляемой ракеты (ЗУР) и решение государственного руководства о закупках для ВМС НОАК российских вооружений стали причиной использования на эсминце пр. 052С УВП «барабанного типа» (Н/АJK03 для ЗУР ННQ-9В). В то же время решение использовать в пр. 052D тот же корпус и главные механизмы,

но с более совершенными радиолокационным комплексом и увеличенной номенклатурой ракетного оружия означало необходимость перехода к модульной УВП. Ко времени разработки аванпроекта 055 военный стандарт КНР – GJB 5860–2006 «Общие технические требования к установке вертикального пуска управляемых ракет надводного корабля» действовал уже два года. Этот нормативно-технический документ определяет схемные и конструктивные решения и геометрические размеры ННҚ-9В модульной УВП и собственно пускового модуля, оговаривает типы транспортно-пусковых контейнеров, формулирует общие требования к энергетическим интерфейсам и блокам управления пуском, а также к испытаниям. УВП должны обеспечивать возможность хранения и пуска ракет четырех типов, включая два типа ЗУР, противолодочную ракету (ПЛР) и крылатую ракету для поражения наземных целей.

Модуль УВП состоит из восьми ячеек, имеющих квадратное сечение со стороны 850 мм, в каждой из которых хранится либо одна УР в ТПК, либо четыре ЗУР. Высота размещаемых в модуле ТПК составляет 9000, 7000 и 3300 мм. Модуль конструктивно и функционально независим, совместим с различными типами ракет и может адаптироваться к режимам пуска. Электронные блоки управления УВП должны обеспечивать возможность независимого пуска УР каждого модуля. Требования к точности положения вертикальной оси пускового модуля относительно основной плоскости корабля при монтаже – 10 угловых минут. Время открытия верхней крышки пускового цилиндра – не более трех секунд на угол не менее 95°.

Универсальная УВП позволяет осуществлять пуск ЗУР двух типов и крылатых ракет для стрельбы по морским и наземным целям с использованием «холодного» и «горячего» способов. Типовая загрузка УВП эсминца пр. 052D: 48 ЗУР ННҚ-9В + 16 ПКР УЈ-18А.

Относительно главных размерений и водоизмещения эсминца пр. 055 имеется различная информация, достоверность вариантов практически никак не обосновывается и не комментируется. Первичные оценки (наибольшая длина – 174 м), очевидно, основывались на опубликованных фотографиях берегового испытательного комплекса корабельного РЭВ в Ухани. Затем они делались на основании спутниковых снимков ранних стадий строительства. В официальном приглашении на парад по случаю 70-летия ВМС НОАК для головного корабля пр. 055 указывалось: длина – ок. 180 м, ширина – 23 м, стандартное водоизмещение – более 11 000 т. «Jane's Fighting Ships

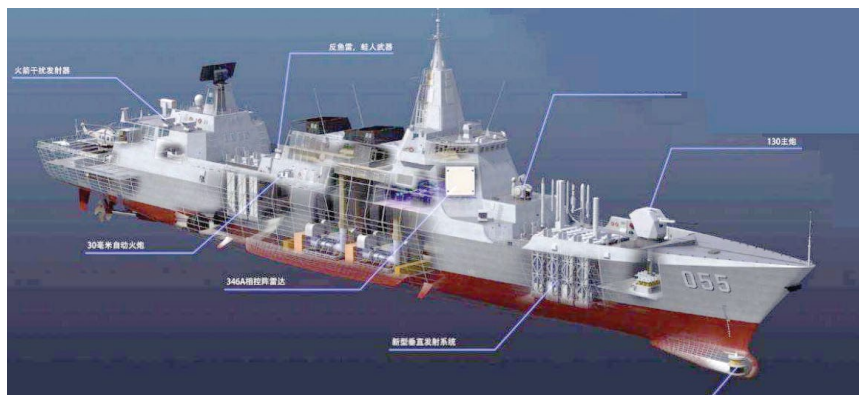


Рис. 11. Визуализация пр. 055, опубликованная в 2015 г.

2019–2020» дает следующие главные размерения эсминца «Nanchang»: длина наибольшая – 190 м, ширина по КВЛ – 19,0 м, осадка средняя – 6,6 м. Водоизмещение стандартное – 11 000 т, полное – 13 000 т.*

На основании изучения открытой информации можно использовать для дальнейшего рассмотрения следующие значения главных размерений, м: длина наибольшая – 179,8–180,0, по КВЛ – 164,0–164,5; ширина наибольшая – 22,5–23,0, по КВЛ – 20,8; осадка средняя – 7,20, габаритная – 9,1.

Неизменное, начиная с первого реализованного варианта, взаиморасположение ИБМК, блоков надстройки и зоны УВП, а главное – имитация газоходов ГТД объясняет сходство изображения дымовых труб, компоновки основных элементов пропульсивного комплекса в различных «реконструкциях» внешнего облика корабля.

Согласно публикациям «People's Liberation Army Daily» (январь 2018 г.),

Предполагается, что речь может идти о применении сплавов на основе титана.

Имевшие место в китайских и зарубежных СМИ публикации по поводу внедрения на головном эсминце нового поколения «полного электродвижения» прекратились после заявления официального представителя МО КНР о ГЭУ из четырех ГТД по схеме COGAG, то вот сообщения о применении интегрированной электроэнергетической системы напрямую не подтверждалось и не опровергалось, хотя на этот счет публиковались комментарии авторитетных китайских специалистов. Состав системы не раскрывается, однако наиболее вероятно использование шести 5-МВт газотурбогенераторов на основе ГТД QD50, разработанных для ГЭУ амфибийного десантного катера на воздушной подушке. Четыре главных ГТД размещены в двух изолированных отсеках в средней части корпуса, между ними расположен редукторный отсек (рис. 12).

Как и на предыдущих проектах, га-

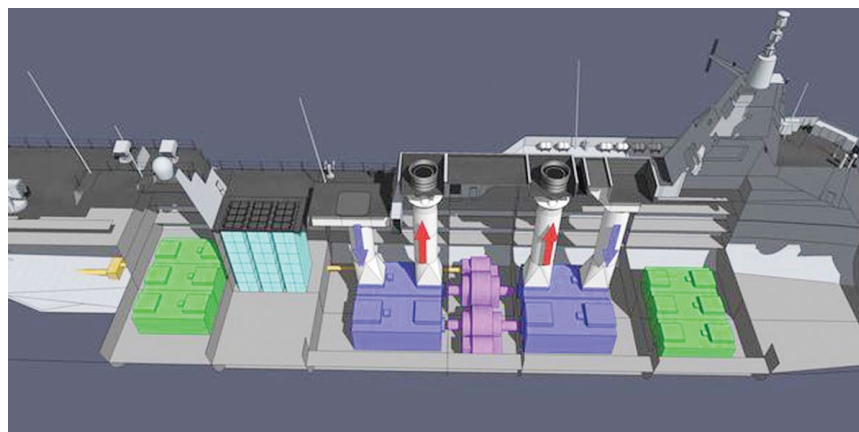


Рис. 12. Компоновка пропульсивной установки эсминца пр. 055

для снижения массы корпуса эсминца пр. 055 в целях достижения заданной скорости полного хода в корпусных конструкциях корабля используются некий «более легкий специальный материал».

* Упомянув о церемонии ввода в состав флота эсминца DDG-102 «Lhasa», «главная китайская газета» «Женьминь Жибао» в марте 2021 г. сообщала, что полное водоизмещение корабля – до 14 500 т.

зоходы ГТД выполнены вертикально, без изгибов, причем выполнению этого условия при окончательном выборе варианта компоновки, вероятно, отдавался приоритет. В случае применения ГТД модификации QC2801С их полную мощность можно оценить величиной 130 000 л.с., передаваемую на ВРШ – 100 000 л.с., скорость полного хода – 32 уз, наибольшую – ок. 34 уз. Можно

предположить наличие двух корабельных электростанций, расположенных в нос и корму от турбинных отделений.

Ремонтопригодность ГЭУ и ЭЭС, как и на кораблях пр. 052В, 052С и 052Д, обеспечивается компоновочными решениями на ранних стадиях проектирования: расположение шахт для демонтажа/монтажа заменяемых агрегатов с легкосъёмными закрытиями непосредственно над (или с минимальным сдвигом по горизонтали) модулями газогенераторов и ГТД. Заслуживают внимания комментарии о неудовлетворительном подразделении на отсеки и возможности вывода из строя обоих турбинных отделений в результате взрыва под днищем в районе миделя боевого зарядного отделения торпеды типа Mk48.

Большое внимание уделено снижению заметности по физическим полям. Применены различные методы снижения эффективной площади рассеяния (ЭПР). За счет использования ИБМК значительно сокращено количество различных антенных постов, а его форма выбрана с учетом минимизации отражения радиолокационных сигналов. Размещение ПКР и зенитного боезапаса в универсальной подпалубной УВП также значительно снижает радиолокационную заметность. В дополнение к реализации концепции ИБМК используются «традиционные» методы: интегрированная надстройка с оптимальными сопряжениями и наклоном поверхностей, полное отсутствие создающих ЭПР выступающих частей на палубе бака, закрытие ниш и вырезов в бортах лацпортами и специальное закрытие ниши для бортовых плавсредств и т. д. Техническое исполнение леерного ограждения также свидетельствует о внимании, проявленном к максимально возможному снижению ЭПР корабля. Для снижения интенсивности излучений в определенных диапазонах применены экранирующие решетки и радиопоглощающие покрытия и материалы.

Снижение заметности в инфракрасном диапазоне достигается за счет изоляции и интенсивного принудительного охлаждения отработанных газов в выходном тракте газоходов. На третьем корабле (головной «Dalian Shipyard»), вышедшем на испытания в середине июля 2020 г., газоходы модифицированы.

В процессе проектирования жилых и общественных помещений учитывались мнения экипажей кораблей первой линии, обративших внимание проектанта на звукоизоляцию и ударпрочность оборудования и мебели, расширение применения для снижения уровня шума поглощающих материалов. Завод-строитель выполнил натурное макетирование десяти типовых кают, пригласив для участия в отработке



Рис. 13. Кают-компания офицеров и четырехместная каюта на DDG-105 «Lhasa»

расположения и оборудования личный состав экипажей кораблей (рис. 13).

В случаях, когда для выполнения пожеланий моряков корпусные конструкции невозможно было изменить, на отдельных участках меняли трассировку трубопроводов и электрокабелей. То же делалось при необходимости усиления вентиляции. Чтобы создать в жилых и общественных помещениях ощущение тепла, применили регулируемое освещение. Начиная с ранних стадий проектирования оптимизировались маршруты движения экипажа и транспортировку грузов.

В состав РЭВ эскадренного миноносца пр. 055 (рис. 14) входят МФРЛК Н/ЛЖ 346В, комплекс средств радиоэлектронного противодействия, боевые системы командования кораблем (предположительно – Н/ЗВЖ-2) и корабельным соединением нового поколения и ряд других.

Корабль оснащен стандартными для ВМС НОАК защищенными линиями передачи данных (JIDS, система широкополосной высокоскоростной передачи тактических данных и т. д.), автоматизированной комплексной системой внешней радиосвязи. Ранее яв-

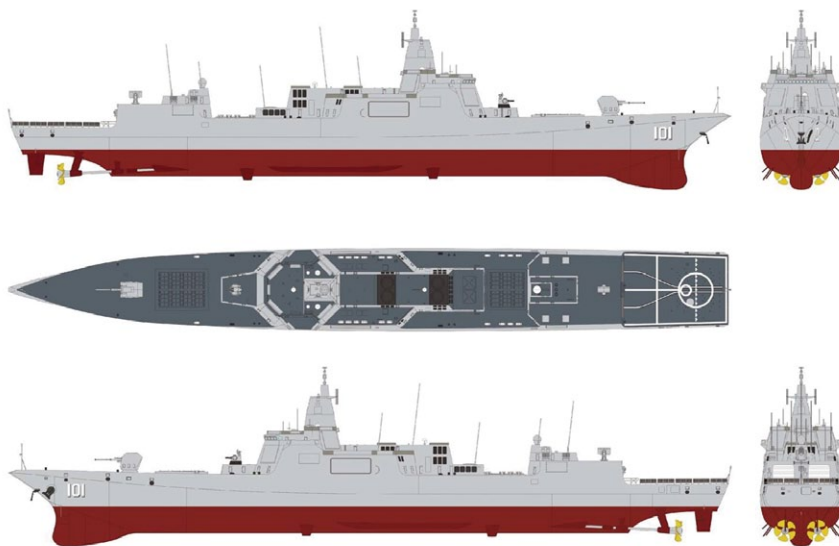


Рис. 14. Наружный вид эскадренного миноносца пр. 055

являющийся обязательным элементом для ракетных кораблей радиолокационный комплекс целеуказания ударному ракетному оружию Н/ЛЖ-366 («Минерал-Э/ЭМ») исключен из состава вооружения*, его функции выполняет одна из подсистем МФРЛК.

Увеличение главных размерений корабля и использование ИБМК позволило оптимально разместить имеющие большие массу и габариты антенные посты главных АФАР, значительно увеличив их высоту над КВЛ и обеспечив достаточный обзор кормовых секторов без «затенения» кормовой надстройки. По признанию китайских источников, у кораблей пр. 052С при ограничении высоты АФАР МФРЛК Н/ЛЖ346 (3,9 × 4,6 м) над КВЛ существовали проблемы с обеспечением достаточной остойчивости.

В дополнение к четырем основным антенным постам АФАР на носовой надстройке (диапазона S) на ИБМК размещены четыре АФАР станции диапазона Х. Их вероятное назначение – «подсвет» малоразмерных воздушных целей, обстреливаемых ЗУР ННХ-9В с полуактивными радиолокационными ГСН и целеуказание ЗУР с активными радиолокационным самонаведением.

Благодаря размещению антенных постов на высоте около 30 м над конструктивной ватерлинией возможен перехват и уничтожение «сложных» целей на дальностях радиогоризонта. Кроме того, еще четыре АФАР, перекрывающие секторы обзора основных (две панели расположены побортно на уровне 2-го яруса носовой надстройки, две другие – на такой же высоте кормовой надстройки), дают возможность применения ЗУР, когда все целевые каналы основных АФАР уже заняты сопровождением приближающихся ПКР. В случае выведения из строя трех АФАР, работающих в одном из наиболее ракетаопасных направлений, корабль сохраняет способность отражать массированные атаки.

Большая часть установленного на эсминце четвертого поколения оружия и вооружения производится серийно и имеется на кораблях пр. 052D. Пуск всей номенклатуры штатного ракетного боезапаса осуществляется из универсальной УВП.

Осенью прошлого года на международном авиакосмическом салоне в Чжухае впервые был представлен ее экспортный вариант под обозначением НТ-1Е (рис. 15). Сообщается, что из УВП возможно применение сверхзвуковых крылатых ракеты СМ-103 с эффективной дальностью стрельбы до 290 км, ЗУР дальнего радиуса действия ННХ-9Е, доз-

* Возможно, это связано с продажей РЛК «Минерал-МЭ» американцам через «Укрспецэкспорт».

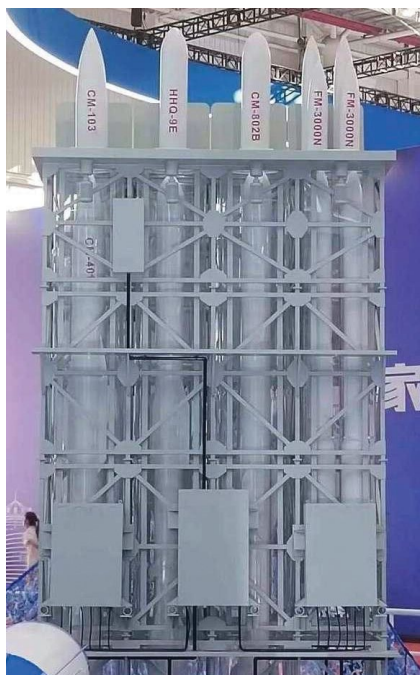


Рис. 15. Макет универсальной УВП НТ-1Е

вуковые ПКР СМ-802В и ЗУР ближнего радиуса действия FM-3000N (в каждой ячейке УВП размещается четыре ракеты). Последние имеют командное телеуправление с полуактивным радиолокационным самонаведением на конечном участке, максимальная дальность стрельбы – более 40 км, минимальная – 2 км.

На корабле имеется 14 модулей (всего 112 ячеек), из них восемь размещены на баке (64) и шесть – на шкафуте (48).



Рис. 16. Пуски ракет из УВП эсминца «Nanchang»: слева – ЗУР ННХ-9Е, справа – ракеты УЈ-18А

Ударное вооружение кораблей пр. 055 составляют принятые на вооружение в 2014 г. крылатые ракеты вертикального старта УЈ-18А.

В апреле текущего года сообщалось об успешной стрельбе из штатной УВП эсминца «Nanchang» гиперзвуковой баллистической ПКР ЈУ-21.

Из УВП также возможно применение ПЛР Yu-8 на дальность от 5 до 30 км. В качестве боевой части ПЛР используется 324-мм акустическая электроторпеда (масса торпеды 238 кг, масса

БЗО 45 кг, максимальная скорость 42 уз, дальность хода 9400 м).**

Традиционное противолодочное вооружение корабля пр. 055 – два находящихся 324-мм трехтрубных аппарата ХЈQ-004А для стрельбы электрическими торпедами Yu-7 (Н/YZQ-007) или двухрежимной тепловой торпедой Yu-11 (50 уз – 11 000 м, 30 уз – 26 000 м).

Артиллерийское вооружение состоит из автоматической 130-мм установки Н/РЈ-45А и автономного 30-мм комплекса Н/РЈ11.

Корабельная 130-мм одноорудийная артиллерийская установка (длина ствола – 70 калибров) разработана НИИ-713 (Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Zhengzhou) к 2005 г. с использованием элементов российской двухорудийной АУ АК-130. Горизонтальная дальность стрельбы – 29 500 м, скорострельность – 40 выстр./мин., полная масса АУ – около 50 т. Эсминец пр. 052D вооружен версией Н/РЈ-45А-130-1, в которой для облегчения АУ оставлен один питатель, в конструкции вращающейся части применены легкие сплавы, для уменьшения отдачи орудия – дульный тормоз. Эти меры позволили сократить общую массу АУ до 32,4 т. В варианте АУ для корабля пр. 055 восстановлено двухканальное боепитание, конструкция станка и механизм отката орудия усилены. Изменение формы кожуха АУ позволило увеличить внутренний объем башни, уменьшив при этом ЭПР.



Оборону от средств воздушного нападения на ближнем рубеже обеспечивают принятый на вооружение

** Согласно китайским источникам и рекламной информации об экспортном варианте ПЛР, первичное целеуказание выдает корабельная ГАС, после чего в автоматическом режиме рассчитываются координаты точки прицеливания, которые вводятся в бортовую инерциальную систему управления. Корректировка траектории ПЛР возможна с вертолета с использованием защищенной командной радиолонии. Круговое вероятное отклонение от точки прицеливания – 500 м.

в 2009 г. 30-мм автономный артиллерийский комплекс Н/РJ12* (в носовых секторах) и малогабаритный ЗРК НQ-10 (в кормовых секторах). Согласно информации, опубликованной китайскими военно-техническими печатными изданиями и размещенной на ряде специализированных веб-сайтов, 30-мм автономная семиствольная АУ, блок стволов которой приводится во вращение электроприводом, использует снаряд с начальной скоростью 1150 м/с, весит 6500 кг и имеет боекомплект 640 выстрелов. РЛС управления огнем Н/ЛJР-349 способна обнаруживать низколетящие цели с ЭПР 2,0 м² на дальностях около 15 км, ПКР – около 8 км. Цель с ЭПР 20 м² обнаруживается на дистанции около 20 км. Оптико-электронный блок Н/ЗGJ-4 объединяет тепловизионную, телевизионную камеры и лазерный дальномер. Дальность обнаружения самолетов достигает 25 км, ПКР – 6 км.

В 11-ствольном варианте АУ (Н/РJ11, рис. 17), максимальная скорострельность которой, по некоторым данным, достигает 11 000 выстр./мин, используется 30×165 мм бронебойный снаряд с оперением (APFSDS), начальная скорость которого увеличена до 1250 м/с. Общая масса АУ составляет 7400 кг. Готовый к стрельбе боезапас в двух магазинах – 1280 выстрелов. Огонь может вестись последовательно по нескольким целям в зависимости от степени угрозы (дальность и скорость). Эффективная дальность стрельбы – 3000 м, максимальная – 5000 м.

Корабельный автоматический ЗРК НQ-10 (рис. 18) предназначен для уничтожения низколетящих крылатых ракет, самолетов, вертолетов и беспилотных летательных аппаратов на дистанциях 9000 до 500 м. Комплекс, экспортная версия которого (FL3000N) впервые демонстрировалась на Международном авиасалоне в Китае в 2008 г., создан специалистами Китайской государственной аэрокосмической научно-производственной корпорации (China Aerospace and Science Industry Corporation) на основе ЗУР TY-80 класса «воздух–воздух». Существуют три модификации НQ-10, отличающиеся количеством ЗУР (8, 15 и 24) в наводящейся в двух плоскостях пусковой установке и наличием устройства перезарядки.

Сверхзвуковая ракета длиной 2,0 м и диаметром 120 мм со скоростью до 2,5 махов снабжена трехкилограммовой боевой частью и комбинированной системой самонаведения – пассивной радиолокационной и инфракрасной на конечном участке траектории – и способна маневрировать с двадцатикрат-



Рис. 17. Стрельба 30-мм ЗКБР Н/РJ11 эсминца «Nanchang»



Рис. 18. Стрельба ЗРК НQ-10 эсминца «Nanchang»

ной перегрузкой. Сообщается, что время реакции комплекса, интегрированного с бортовыми средствами обнаружения, составляет около 10 с, интервал между пусками ЗУР – 3 с. Предусмотрена возможность стрельбы в ручном режиме.

В состав интегрированного комплекса РЭБ кораблей пр. 055 Н/РJZ-726 входят четыре автоматические 32-ствольные 122-мм пусковые установки выстреливаемых помех 726–4В, расположенные побортно на кормовой надстройке. Возможность стрельбы реактивными глубинными бомбами, имеющаяся у пусковых установок ранних модификаций, пока не получила подтверждения.

В открытых источниках практически отсутствует какая-либо информация о современных корабельных средствах освещения подводной обстановки ВМС НОАК. Размеры носового бульбового обтекателя DDG-101 говорят о том, что корабль должен быть оснащен мощным ГАК, сравнимым по техническим

характеристикам с американским AN/SQS-56. Какая-либо информация о гидроакустическом вооружении китайского эсминца отсутствует, а попавшие в интернет фото и видеокдры церемонии спуска на воду головного корабля (рис. 19), дававшие возможность более-менее точно оценить линейные размеры приемоизлучателя, были изъяты из общего доступа.

Цифровой ГАК с гибкой протяженной буксируемой антенной (ГПБА) SJG-311 является развитием модели SJG-206. Согласно рекламной информации об экспортном варианте последней (TLAS-1), комплекс способен, работая в активном или пассивном режимах, обнаруживать на дистанциях 25 ... 45 км и сопровождать до пяти подводных целей, обеспечивая точность определения пеленга 4°. Рабочая часть ГПБА SJG-311 длиной около 250 м состоит из десяти акустических компонентов, каждый из которых содержит 54 гидрофона. Скорость буксировки – от 12 до 22 уз, глубина – 300 м, дальность обнаружения атомной подводной лодки в пассивном режиме – до 80 миль. Китайские источники утверждают, что характеристики ГПБА, принятой на вооружение ВМС НОАК, близки к таковым американской AN/SQR-19A.

Прочность и размеры взлетно-посадочной площадки, габариты двух ангаров допускают базирование двух противолодочных вертолетов Z-18F взлетной массой около 14 т. Вертолет создан Changhe Aircraft Industries Corporation для замены «Harbin Z-8» и принят на вооружение ВМС НОАК в 2018 г. В перспективе основу комплекса противолодочного вооружения кораблей пр. 055 составят два вертолета Z-20F.

Принятый на вооружение армейской авиации КНР в 2018 г. многоцелевой вертолет Changhe Z-20J оснащен двумя ТВД WZ-10 взлетной мощностью до 1600 кВт и имеет пятилопастный



Рис. 19. Церемония спуска на воду DDG-101 «Nanchang», 28 июня 2017 г.

* Единая система индексации вооружения и военной техники введена в КНР в 2012 г.

несущий винт диаметром 16,20 м. Нормальная взлетная масса машины составляет 10 000 т. Достоверная информация о степени готовности противолодочной модификации Z-20F отсутствует.

Подтверждением возможности базирования на корабле вертолетов Ка-28 и Ка-31 российского производства является имеющийся на взлетно-посадочной площадке подъемник авиационного боезапаса – его наличие на китайских эсминцах обусловлено требованиями к хранению и эксплуатации противолодочной ракеты АПР-3Э.

Для серийной постройки кораблей пр. 055 по инициативе Jiangnan Shipbuilding Group группой специалистов* был создан комплект станочного оборудования SKWB-2500 для автоматизированной холодной обработки листов двойкой кривизны.

Основу комплекта оборудования составляет гидравлический гибочный пресс, матрица и пуансон которого состоит из нескольких десятков независимых рабочих элементов, каждый из которых фиксируется с заданной линейной координатой (рис. 20). На выставленные нижние опоры (матрицу), обгибающая поверхность шарнирных упоров которых соответствует требуемой форме детали, укладывается и фиксируется по лазерным меткам вырезанная в размер электронная по карте резки плоская заготовка, на которую затем опускается «фигурный пуансон». Процесс гибки происходит с учетом предварительно рассчитанных упругих и пластических деформаций листа.

Для нормального функционирования комплекта оборудования SKWB-2500, масса которого составляет 6000 т, требуется всего несколько человек. По заявлениям китайских специалистов, «базовая технология с правами интеллектуальной собственности в Китае является крупным технологическим новшеством в области судостроения и может заменить 54 рабочих, повышая эффективность производства по сравнению с традиционными методами более чем в десять раз». Оборудование внедрено на трех из шести крупнейших судостроительных предприятий КНР, а в октябре 2017 г. поставлено на завод тяжелой промышленности в Ухани.

Сформировавшееся на основании анализа доступной информации представление об основных проектных решениях нового китайского эсминца оставляет открытыми вопросы обеспечения боевой живучести корабля и его импульсивного комплекса.

Оценка потенциала эсминцев пр. 055 на основании доступной информа-

* Jiangnan Shipbuilding (Group) Co., Ltd., Уханьский технологический университет и компания Shandong Shuoli.



Рис. 20. Гидравлический гибочный пресс SKWB-2500

ции позволяет считать, что два корабля, взаимодействуя с остальными включаемыми в состав соединения боевыми единицами, способны обеспечить выполнение типовых задач боевого хранения авианосных многоцелевых групп.

Для выполнения экспертной сравнительной оценки боевой эффективности кораблей четвертого поколения ВМС НОАК необходимо обладать информацией о ТТЭ эскадренных миноносцев пр. 055 и ТТХ оружия, вооружения и технических средств, которая имела бы степень достоверности, соответствующую уровню наших знаний о вероятных противниках Китая на море. Что же касается оценки этих кораблей в КНР, то в опубликованном в феврале 2021 г. заявлении контр-адмирала Чжао Дэньпина, бывшего заместителя директора департамента военно-морского оборудования ВМС НОАК, говорилось, что, комплексная боевая эффективность эсминца пр. 055 в 2,4 раза выше, чем у корабля пр. 052D, эффективность которого в свою очередь, в 1,6 раза превышает таковую у эсминца пр. 052С.

Первая серия эскадренных миноносцев пр. 055 насчитывает восемь вымпелов. Ход осуществления программы строительства кораблей пр. 055 говорит о том, что китайское руководство уверено в правильности принятых проектных решений, надежности ГЭУ и работоспособности систем оружия и вооружения.

Торжественная церемония спуска на воду DDG-101 «Nanchang» состоялась 28 июня 2017 г. Ходовые испытания эсминца начал 24 августа 2018 г. Хотя официальная передача флоту состоялась только 12 января 2020 г., уже 23 апреля 2019 г. корабль участвовал в параде в честь 70-й годовщины ВМС НОАК. Второй корабль спустили на воду в апреле 2018 г., третий и четвертый – 3 июля того же года, пятый – в начале 2019 г. Спуск на воду шестого эсминца состоялся на воду 26 декабря 2019 г., восьмого корабля серии – 30 августа 2020 г. 2 марта

2021 г. в ВМБ Циндао прошла церемония ввода в состав Северного флота ВМС НОАК DDG-102 «Lhasa», а вскоре был передан флоту DDG-105 «Dalian». В марте текущего года в строй вступил построенный заводом «Цзяннань» DDG-104 «Wuxi».

Вступление в боевой состав ВМС НОАК восьми кораблей пр. 055 в дополнение к продолжающейся серии эскдренных миноносцев пр. 052D (по некоторым данным, до 30 вымпелов) подтверждает намерения военно-политического руководства КНР создать и поддерживать состав боевого охранения трех авианосных многоцелевых групп.

ВМФ России получил первый практический опыт взаимодействия с новейшим кораблем ВМС НОАК во время проведенных в прошедшем году совместных учений с кораблями Тихоокеанского флота.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. Голяк В. И. Военно-техническое сотрудничество с Китайской Народной Республикой // Судостроение. – 2016. – № 5. – С. 32–36.
2. Юлхин В. Е. Военно-техническое сотрудничество Северного ПКБ с Китаем // Морской вестник. – 2015. – № 4 (56). – С. 123–126.
3. Регинский В. Д., Кибовский И. Д., Паршуков В. Н. Интеграция радиоэлектронного вооружения корабля в интересах освещения верхней полусферы // Автоматизация процессов управления. – 2009. – № 2 (16). – С. 98–102.
4. Чэнь Фэн, Цао Хун Тао, Лю Ян. Краткое описание интегрированной энергетической системы зарубежного военного корабля // Ship Science and Technology. – 2017. – № 39 (9). – Р. 1–5.
5. Казённов В. С. Энергетика современных эскадренных кораблей: что нужно российскому флоту? // Морской вестник. 2013. № 4 (48). С. 111–117.
6. Yu Dong-Yang, Liu Yong-Heng, Zou Xian, Xu Zeng-Zhong. Research on high power CCG transmission for warship // Ship Science and Technology. – 2010. – № 32 (8). – P.154–156.
7. Po E. Type 055 Classe RENHAI. I nuovi supercacciatorpediniere cinesi // Rivista Italiana Difesa. – 2018. – № 8. – P. 46–52.
8. Zhao Lei. Destroyer called one of world's mightiest // China Daily. 29.06.2017.
9. Jane's Defense Weekly. – 2017. – Vol. 54. – № 18. – P. 15.
10. Caldwell D., Freda J., Goldstein L. China's dreadnought? The PLA Navy's Type 055 cruiser and its implications for the future maritime security environment. – U. S. Naval War College, 2020. ■

Едва ли можно сомневаться в том, что любая организация, выпускающая товарную продукцию, стремится к сокращению затрат на ее производство и доставку потребителям. Эти же задачи решает и конструкторское бюро судостроения, основной продукцией которого является техническая документация, необходимая для строительства и эксплуатации судов: чертежи, схемы, технические описания, пр. Один из путей минимизации затрат на выпуск технической документации – совершенствование технологии ее разработки. Движение продукции конструкторского бюро судостроения при ее доставке заинтересованным организациям обеспечивают информационные (сопутствующие) документы: нормативные организационные документы предприятия, сопроводительные письма, запросы, отчеты, пр. Движение технических документов образует материальные потоки, а движение сопровождающих их информационных документов – информационные потоки [7]. Методы оптимизации (минимизации) затрат на организацию материальных и информационных потоков лежат в предметной области логистики [3]. При этом материальные потоки рассматриваются логистикой как основные, которые инициируют обеспечивающие потоки – информационные [2]. Однако вследствие активной компьютеризации конструкторской области судостроения технология совершенствования процесса разработки технической документации и технология совершенствования процесса ее движения тесно смыкаются друг с другом.

В настоящее время техническая документация конструкторского бюро судостроения в значительной степени разрабатывается не на бумажных носителях (это рассматривается как опция), а в виде электронных файлов, содержанием которых является информация. В данном случае понятие «информация» трактуется как совокупность организационно-технических сведений, которые можно зафиксировать, передать, преобразовать и использовать в интересах производственной деятельности [2]. Таким образом товарной продукцией конструкторского бюро судостроения становится электронная информация.

Каждый электронный файл технического документа разрабатывается на основании исходных данных – информации, заключенной в электронном файле предыдущего технического документа, разработанном самим конструкторским бюро судостроения, или в электронном файле технического докумен-

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИКИ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО СУДОСТРОЕНИЯ

Ю.В. Дорогов, канд. воен. наук, капитан 1 ранга запаса,
Б.П. Ионов, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (911) 091 1652, +7 (921) 750 4507

та внешней организации – поставщика комплектующего судового оборудования. В свою очередь, новый электронный файл технического документа сам становится источником информации для разработки электронных файлов последующих технических документов или источником информации для действий судостроительного предприятия. Сведения, содержащиеся в электронном файле, могут нуждаться в верификации – в проверке и согласовании заинтересованными смежными структурными подразделениями конструкторского бюро судостроения, а также внешними производственными и надзорными организациями. Следовательно, производственный процесс разработки и согласования электронных файлов технической документации можно рассматривать как движение электронной информации. Маршрутизацию электронных файлов технических документов обеспечивает информация, заключенная в электронных файлах других – сопутствующих – документов: нормативные организационные документы предприятия, сопроводительные письма, запросы, отчеты, пр.

Электронные файлы технических документов и электронные файлы сопутствующих документов по своему назначению, форме и содержанию значительно отличаются друг от друга, но едины в части технологии разработки и движения:

- сформированы пользователями или автоматизированными системами с использованием единого аппаратно-программного обеспечения;
- предназначены для восприятия компьютером и/или человеком с помощью единого аппаратно-программного обеспечения;
- содержат в себе сведения, используемые в интересах производственной деятельности;
- маршрутизируются с помощью единого аппаратно-программного обеспечения;
- движутся по одним каналам электронной коммуникации.

Единая технология формирования электронных файлов технических документов и электронных файлов сопутствующих документов дает возможность объединить их в единое понятие – электронные информационные сообщения (ЭИС), а единая технология их маршрутизации и передачи объединить динамические процессы единым понятием электронные информационные потоки.

Близкие по своей технологической природе процессы разработки электронных информационных сообщений (товарной продукции конструкторского бюро судостроения) и процессы формирования электронных информационных потоков (доставки товарной продукции потребителям) позволяют объединить их и вести поиск путей их оптимизации (минимизации затрат на производство и доставку товарной продукции) в одной предметной области – в области электронной информационной логистики. Как следствие, возникает необходимость в создании системы электронной информационной логистики конструкторского бюро судостроения, которая должна основываться на базовых понятиях и принципах функционирования. Понятия и принципы, на которых строятся системы логистики, раскрыты в современной литературе [1, 2, 3, 7], но с учетом особенностей функционирования системы электронной информационной логистики конструкторского бюро судостроения их номенклатура и содержание существенно изменяется.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИКИ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО СУДОСТРОЕНИЯ

Система электронной информационной логистики конструкторского бюро судостроения (КБС) – это совокупность взаимосвязанных участников проектирования судна, программно-технических средств и правил, формирующих электронные информационные потоки.

Цель системы электронной информационной логистики конструкторского

бюро судостроения – обеспечение участников проектирования и строительства судна необходимой информацией в нужном объеме, в нужное время, в нужном месте с минимальными суммарными затратами на разработку и маршрутизацию электронных информационных сообщений с учетом объективно существующих ограничений.

Электронный файл информационно-го сообщения – это виртуальный объект на электронном носителе, содержащий производственно-значимые сведения.

Электронный информационный поток – это совокупность файлов электронных информационных сообщений (ЭИС), которыми обмениваются участники проектирования и строительства судна. Электронные информационные потоки технических документов и электронные информационные потоки сопутствующих документов могут протекать:

- параллельно одновременно, например, электронный файл технического документа, направляемого на согласование, совместно с электронным файлом сопроводительного письма;
- последовательно с запаздыванием во времени, например, сначала электронный файл уведомления о сроке завершения разработки технического документа, а затем в указанный срок электронный файл разработанного технического документа;
- во встречных направлениях, например, электронный файл с исходными данными в ответ на электронный файл с запросом на предоставление необходимой информации [7].

Маршрут электронного информационного потока – это линия коммуникационной связи между источником и адресатом ЭИС. Маршрутизация ЭИС – это выбор адресата ЭИС. Выбор адресата может выполняться исполнителем ЭИС или автоматизированными системами с использованием единого аппаратно-программного обеспечения.

ЭИС – это электронный файл, включающий в себе производственно-значимую текстовую или графическую информацию. К категории ЭИС относятся файлы всех видов технических и сопутствующих документов, разрабатываемых в обеспечение проектирования и строительства судна: чертежи, схемы, спецификации, ведомости, служебные и докладные записки, пр., а также 3D-модель судна и его элементов. Объединение всех электронных файлов в одну категорию дает возможность абстрагироваться от многообразия форм технических и сопутствующих документов и рассматривать все виды файлов как однотипные, с единой номенклату-

рой атрибутов, которые являются значимыми для функционирования системы электронной информационной логистики.

Атрибуты ЭИС – это совокупность свойств электронного файла и содержащихся в нем сведений, значимых для функционирования системы электронной информационной логистики:

- цель,
- наименование,
- обозначение,
- имя файла,
- формат файла,
- содержание,
- структура,
- комплектность,
- место расположения файла,
- хозяин,
- источник (разработчик),
- адресат (потребитель),
- статус,
- жизненный цикл,
- продолжительность разработки,
- срок разработки,
- продолжительность хранения файла.

Цель (назначение) ЭИС – совокупность знаний и образа действий, которые должны быть сформированы в сознании адресата при ознакомлении с содержанием ЭИС. Например, конструкторский документ технического проекта может иметь цель дать представление об основных характеристиках и принципах функционирования проектируемой системы судна, а цель (назначение) производственного стандарта предприятия – установить порядок расчетов корпусных конструкций. Цель ЭИС может быть сформулирована и указана в самом ЭИС (например, в производственном стандарте предприятия) или не указана (например, в сборочном чертеже судовой системы), но в обоих случаях разработчик должен ясно представлять цель разрабатываемого им ЭИС, чтобы осознанно отображать в ЭИС те сведения, которые обеспечат достижение цели ЭИС. Содержание технических документов в большинстве случаев регламентировано ГОСТ и внутренними стандартами КБС, но это не снимает ответственности с исполнителя осознать и обеспечить достижение цели разрабатываемого им конкретного документа.

Наименование ЭИС дает представление о его содержании, служит его идентификатором и маршрутизатором в системе электронной информационной логистики. Структура наименований технических и сопутствующих документов и используемые в них термины регламентируются как ГОСТ [9, 10, 11], так и нормативными документами КБС.

Обозначение ЭИС – это комбинация цифр, букв и символов, присваиваемая ему для идентификации в системе элек-

тронной информационной логистики КБС. Как правило, структура обозначения технических документов устанавливается ГОСТ [8, 12], а структура обозначения сопутствующих документов регламентируется внутренним нормативным документом КБС.

Имя файла ЭИС – это комбинация цифр, букв и символов, присваиваемая файлу ЭИС для его идентификации в системе электронной информационной логистики КБС. В частном случае в качестве имени файла конструкторского документа может быть использовано обозначение ЭИС.

Формат файла ЭИС – это электронный код, которым записана информация в файле ЭИС. Идентификатор формата указывается в конце имени электронного файла: doc, dwg, pdf, др. Для визуализации информации, содержащейся в файле конкретного формата, как правило, требуется специальное программное обеспечение. Преобразование файла ЭИС одного формата в другой формат с сохранением логически-структурного содержания информации называется конвертированием.

Содержание ЭИС – это заключенные в нем производственно-значимые сведения. С одной стороны, они являются предметной категорией соответствующей производственной области: корпус судна, электрооборудование судна, пожаробезопасность, хозяйственная деятельность организации, пр. В то же время эти сведения являются предметной категорией системы электронной информационной логистики в аспекте их соответствия цели ЭИС, достаточности для достижения цели ЭИС, соответствия наименованию ЭИС, пр. Синонимом термина «сведения» может служить термин «информация».

Структура ЭИС – это совокупность и взаиморасположение единичных и однородных информационных элементов в визуализированном ЭИС.

Комплектность ЭИС – это группа файлов ЭИС, которые только в совокупности дают целостное представление о содержащейся в них информации, например, «принципиальная схема системы» с прилагаемым к ней «перечнем элементов». Поэтому в содержании этих документов должны быть взаимные ссылки, а обозначения комплектных документов и имен их файлов желательно иметь в максимально возможной степени идентичными.

Место расположения файла ЭИС – это одновременно и электронный носитель (сервер, ПК), на котором физически размещается электронный файл документа, и электронный адрес виртуальной папки (директории, каталога), в которую помещен файл и которая обеспечивает упорядоченное рас-

положение групп электронных файлов. Место расположения электронного носителя, на котором физически расположен файл ЭИС, не принципиально для пользователей. Ключевое значение имеет электронный адрес папки, который должен быть известен и доступен всем пользователям файла ЭИС.

Хозяин ЭИС – структурное подразделение КБС, к номенклатуре работ которого относится ЭИС. Хозяином файла технического документа является производственное подразделение КБС, а хозяином файла сопутствующего документа может быть структурное подразделение, отвечающее за организацию информационных потоков.

Источник ЭИС (разработчик, автор, исполнитель) – это должностное лицо или структурное подразделение КБС, которое разработало и адресовало ЭИС. Источниками ЭИС, автоматически формируемых и рассылаемых программно-техническими средствами, являются должностные лица, в соответствии с распоряжениями которых был разработан алгоритм формирования и рассылки ЭИС.

Адресат ЭИС (потребитель, заказчик, пользователь) – это должностное лицо, структурное подразделение КБС или внешняя организация, которым предназначено ЭИС.

Статус ЭИС – это степень должностования ЭИС по отношению к адресату, т.е. мера обязательности и приоритетности исполнения ЭИС адресатом. Статус ЭИС, как правило, соответствует полномочиям должностного лица в иерархической структуре КБС, по распоряжению которого разработано ЭИС. Статус ЭИС может быть назначен в регламентирующем документе КБС.

Жизненный цикл ЭИС – это совокупность этапов различных состояний ЭИС, начиная с момента возникновения необходимости в ЭИС и начала сбора исходных данных для его разработки, и заканчивая уничтожением файла ЭИС на электронном носителе.

Продолжительность разработки ЭИС – суммарное время, необходимое источнику (разработчику) ЭИС для сбора исходных данных, оформления и согласования ЭИС со всеми заинтересованными сторонами. Оно устанавливается нормативными документами КБС, а также может уточняться с учетом совершенствования технологии производства и уровня профессиональной подготовки разработчиков ЭИС.

Срок разработки ЭИС – назначенная дата и время, не позднее которого разработчик (источник) должен завершить оформление ЭИС.

Срок хранения ЭИС – назначенная дата и время, до которого должна быть обеспечена сохранность файла ЭИС

на электронном носителе и его доступность пользователям. Срок хранения может определяться окончанием выполнения действий, предписываемых ЭИС, или устанавливаться регламентирующим документом КБС.

ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИКИ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО СУДОСТРОЕНИЯ

Принципы функционирования системы электронной информационной логистики конструкторского бюро судостроения – это устойчивые повторяющиеся взаимосвязи между отдельными технологическими операциями по разработке и маршрутизации ЭИС, выявленные в результате наблюдения за производственным процессом КБС.

Принцип «исключения бумажных носителей информации» предполагает, что обмен информацией на таких носителях в конструкторском бюро судостроения должен быть минимизирован и в конечном итоге полностью исключен. Бумажный носитель информации – это материальный объект, на который распространяются действия принципов материальной логистики [7]. Наличие бумажных носителей обременяет функционирование системы электронной информационной логистики, снижая ее эффективность.

Принцип «единой цели» предполагает, что результативность каждого оптимизирующего действия в системе электронной информационной логистики должна оцениваться в аспекте достижения единой главной цели – минимизации суммарных затрат на разработку и маршрутизацию ЭИС. Например, оптимизация технологии разработки одного ЭИС может повлечь увеличение трудоемкости разработки другого, связанного с ним ЭИС. Однако если суммарная итоговая трудоемкость разработки обоих ЭИС будет меньше суммарной начальной, то решение по совершенствованию системы электронной информационной логистики будет считаться рациональным.

Принцип «минимальных действий» предполагает, что при разработке и маршрутизации ЭИС должны быть исключены избыточные производственные процессы и действия.

Принцип «короткого маршрута». В электронной информационной логистике длина коммуникационных связей, по которым передаются ЭИС, практически не имеет значения, так как время пересылки в любом случае ничтожно мало по сравнению с временем разработки ЭИС. Продолжительность маршрута движения ЭИС от разработчика к ко-

нечному адресату определяется количеством промежуточных переадресаций. Из этого следует, что принцип «короткого маршрута» предполагает сокращение числа промежуточных переадресаций ЭИС при передаче от разработчика конечному адресату.

Принцип «единого маршрута» предполагает, что однотипные ЭИС должны маршрутизироваться по однотипным электронным информационным потокам как внутри конструкторского бюро судостроения, так и при направлении во внешние организации.

Принцип «своевременности» предполагает, что файл ЭИС должен поступать адресату «в назначенный срок», т.е. «к установленному времени», поскольку поздняя доставка не позволит начать следующий этап работ. Преждевременная доставка материального объекта требует затрат на организацию его хранения до момента востребования, а также может привести к ухудшению его качества в результате затянувшегося хранения. В системе электронной информационной логистики КБС затратами на организацию хранения файлов ЭИС можно пренебречь, поэтому доставка «в назначенный срок» означает «не позднее назначенного времени». Если исполнитель не может завершить разработку ЭИС к назначенному времени, то он обязан заблаговременно сообщить об этом должностному лицу, который поручил ему разработку ЭИС. «Заблаговременно» – это такой отрезок времени, который гарантированно обеспечит разработку ЭИС к назначенному сроку путем привлечения к работе других исполнителей или изменения приоритетности выполнения других работ.

Принцип «единой терминологии» предполагает, что в рамках единого информационного пространства КБС, завода-строителя и заинтересованных смежных организаций одинаковые предметы и явления должны обозначаться одинаковыми терминами [4]. Использование разных слов для обозначения одних и тех же предметов и явлений приветствуется в художественной литературе, формируя такое качество речи, как ее богатство. Но в сфере технической лексики это качество не только избыточно, но может быть вредным [5]. В контексте конкретного информационного сообщения значения слов и словосочетаний могут существенно отличаться, что провоцирует возникновение ситуации, называемой «иллюзия понимания» [6]. В электронной информационной логистике при машинной обработке информации термины служат идентификаторами для поиска требуемой информации и маршрутизации информационных потоков. Поэтому к применению терминов в системе электронной информацион-

ной логистики должны предъявляться высокие ограничительные требования.

Принцип «единой структуры» предполагает, что в рамках единого информационного пространства КБС, завода-строителя и заинтересованных смежных организаций в однотипных ЭИС должно соблюдаться одинаковое построение однотипных смысловых элементов:

- в наименованиях однородных ЭИС – одинаковая последовательность терминов,
- в обозначениях однородных ЭИС – одинаковая последовательность буквенно-цифровых кодов,
- в содержании однородных ЭИС – одинаковая последовательность смысловых элементов,
- в группах однородных ЭИС – одинаковая последовательность однородных ЭИС и пр.

Реализация этого принципа – эффективный метод устранения излишнего многообразия в системе электронной информационной логистики.

Принцип «соответствия содержания цели информационного сообщения» предполагает, что разработчик должен отражать в ЭИС только ту информацию, которая ориентирована на достижение цели ЭИС. Наличие в ЭИС информации, не ориентированной на достижение цели ЭИС, неоправданно расходует временные ресурсы на его разработку, «растворяет» значимую информацию в объеме незначимой.

Принцип «минимальной достаточности» предполагает, что разработчик должен отражать в ЭИС минимальное, но в то же время достаточное количество информации, которое обеспечивает достижение цели ЭИС. Следование этому принципу сокращает время на разработку ЭИС. Применительно к графическим техническим документам требование этого принципа сформулировано в ГОСТ [14]: «3.6 Количество изображений (видов, вырезов, сечений) на чертеже должно быть минимальным, но обеспечивающим полное представление о конструкции».

Принцип «доминирования адресата» предполагает, что при разработке ЭИС исполнитель должен руководствоваться производственными потребностями адресата, а также выбирать такую структуру и форму отображения сведений в ЭИС, которые бы способствовали максимальной доступности информации и минимизировали время на обработку ЭИС адресатом.

Принцип «одного хозяина» предполагает, что у каждого ЭИС, у каждой группы однотипных ЭИС, у каждого маршрута и у каждой группы однотипных маршрутов должны быть персонально ответственные структурные подразделения КБС, к номенклатуре работ

которых относятся соответствующие ЭИС или электронные информационные потоки. Хозяин ЭИС несет ответственность за реализацию всех этапов жизненного цикла ЭИС (сбор исходных данных, разработка, согласование с заинтересованными сторонами, поддержание в актуальном состоянии, пр.), а хозяин маршрута – за функционирование электронного информационного потока по этому маршруту в течение всего периода его существования. Если в силу обстоятельств разработку ЭИС выполняет внешняя организация-контрагент (по договору), то ответственность за ЭИС все равно остается за его «хозяином» – подразделением, к чьей номенклатуре работ относится ЭИС. Хранение файлов ЭИС может быть делегировано другому подразделению, например, «хозяину» программно-технических средств, на которых располагают папки электронного архива файлов ЭИС.

Принцип «универсального шаблона» предполагает, что на базе однородных по структуре и содержанию циклически повторяющихся ЭИС должны быть созданы формы-заготовки, предназначенные для тиражирования при разработке новых однородных циклически повторяющихся ЭИС. Степень универсальности шаблона должна быть такой, чтобы все разрабатываемые на его основе однородные ЭИС создавались главным образом путем удаления из универсального шаблона избыточной информации, минимальной актуализацией оставшейся информации и минимальным добавлением новой информации. Реализация этого принципа сокращает трудоемкость разработки и повышает качество ЭИС, так как обеспечивает сохранение единой структуры всех однородных разрабатываемых ЭИС, а также гарантирует полноту представляемой в ЭИС информации, минимизируя влияние таких личностных качеств разработчиков ЭИС, как забывчивость и рассеянность.

Принцип «минимальных предстоящих изменений» предполагает, что при отсутствии части исходных данных разработка ЭИС должна выполняться таким образом, чтобы после получения недостающей информации объем требуемых изменений в выполненной части работы был минимальным.

Принцип «сохранения статуса» предполагает, что в рамках КБС при переадресации ЭИС другим исполнителям (адресатам) статус ЭИС должен оставаться неизменным. Например, запрос разработчика конструкторского документа в смежный производственный отдел на предоставление исходных данных должен сохранять тот же статус, что и задание на разработку этого конструкторского документа, которое утверждено руководителем организа-

ции. Статус циклически (периодически) повторяющихся ЭИС должен быть установлен внутренним стандартом КБС.

Принцип «действующих ограничений» предполагает, что требования принципов функционирования системы электронной информационной логистики могут быть реализованы лишь с учетом ограничивающих факторов, объективно влияющих на производственные процессы КБС: уровня программно-технического обеспечения, уровня профессиональной подготовки руководящих и конструкторских кадров, их осведомленности в вопросах электронной информационной логистики и мотивации на участие в процессах совершенствования системы электронной информационной логистики КБС, пр. Ограничения, препятствующие оптимизации логистических процессов КБС, не должны служить основанием для полного отказа от прогрессивных преобразований. При наличии ограничений совершенствование системы информационной логистики необходимо проводить в доступном диапазоне изменений, а преодоление и минимизация действующих ограничений – это задача руководителя КБС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование системы электронной информационной логистики – постоянный и непрерывный процесс, сопутствующий производственной деятельности КБС. К тому же он должен активизироваться при любых изменениях условий и обстоятельств, в которых функционирует КБС: начало работы над новым проектом судна, выстраивание производственных контактов с новыми контрагентами и заводами-строителями судов, обновление программно-технического обеспечения КБС, смена конструкторских кадров, пр. И хотя нет и не может быть однозначных универсальных рецептов по оптимизации каждого из всей совокупности процессов, протекающих в производственной деятельности КБС, а также одинаковых систем электронной информационной логистики даже в двух близких по содержанию производственной деятельности конструкторских бюро, тем не менее базовые принципы функционирования системы электронной информационной логистики могут служить и являются универсальным инструментом при поиске путей повышения эффективности производства КБС.

Изначально система электронной информационной логистики должна создаваться под существующую организационно-штатную структуру КБС. Но по мере развития данной системы, совершенствования технологии разработки ЭИС и оптимизации информационных потоков возникает объективная необходимость адаптации организаци-

**Универсальная номенклатура конструкторских работ
производственных подразделений КБС**

Наименование судового объекта	Наименование конструкторского документа	Обозначение конструкторского документа
1	2	3
Системы		
Система вентиляции	Система вентиляции.	xxxxx.360065.024 ПЗ
	Схема пневматическая принципиальная	
	Система вентиляции.	xxxxx.360065.024 ТБ
	Таблица элементов	
	Система вентиляции.	xxxxx.360065.024 ПР
	Перечень вентилируемых помещений.	
	Система вентиляции.	xxxxx.360065.024 РР.1
	Расчет теплотехнический	
	Система вентиляции.	xxxxx.360065.024 РР.2
Система парового отопления	Расчет аэродинамический	
	Система вентиляции.	xxxxx.360065.024 РР.3
	Расчет акустический	
	Система парового отопления.	xxxxx.360065.038 ГЗ
	Схема гидравлическая принципиальная	
	Система парового отопления.	xxxxx.360065.038 ТБ
	Таблица элементов	
	Система парового отопления.	xxxxx.360065.038 РР
	Расчет трубопроводов	
Помещения		
Помещение общесудовых систем	Помещение общесудовых систем.	xxxxx.360065.172 ВО
	Чертеж общего вида	
	Помещение общесудовых систем.	xxxxx.360065.172 ТБ
	Таблица оборудования	
	Оборудование	
	Опреснительная установка.	xxxxx.360065.214 РР
Опреснительная установка	Расчет производительности	
Резервные порядковые номера для группы 360065		215 – 250

Таблица 2

**Нарушения принципа единой терминологии в формулировках наименований
конструкторской документации**

Наименование судового объекта	Наименование конструкторского документа
Ходовая рубка	Расположение оборудования в <i>ходовом мостике</i> (вместо « <i>ходовой рубке</i> »)
Аппаратная навигационного оборудования	Расположение оборудования в <i>штурманской аппаратуре</i> (вместо « <i>аппаратной навигационного оборудования</i> »)
Выгородка лага и эхолота	Расположение оборудования в <i>шахте лага и эхолота</i> (вместо « <i>выгородке лага и эхолота</i> »)

Таблица 3

**Нарушения принципа единой структуры в формулировках наименований
конструкторской документации**

Наименование системы в конце наименования конструкторского документа	Наименование системы в начале наименования конструкторского документа
Перечень контролируемых параметров электроэнергетической системы	Система радиационного контроля.
Расчет гидравлический системы газоотвода вспомогательной котельной установки	Перечень контролируемых параметров
	Система кондиционирования воздуха.
	Расчет теплотехнический

Следующий шаг – формулирование наименований конструкторских документов технического проекта (далее – КДТП), которые разрабатывались ранее и должны будут разрабатываться в будущем по данным судовым объектам. Наименование КДТП – это производная от наименования судового объекта и наименования вида конструкторского документа (табл. 1, колонка 2). При формулировании наименования КДТП не должен нарушаться принцип «единой терминологии», т.е. не следует допускать изменений наименований судовых объектов – систем, помещений, оборудования и пр. (табл. 2):

Наименования КДТП также не должны противоречить требованиям принципа

«единой структуры», т.е. не должна нарушаться одинаковая последовательность терминов в наименованиях однотипных конструкторских документов (табл. 3).

Третий шаг – присвоение обозначений конструкторской документации. Структура обозначений регламентирована нормативными документами [8, 9, 11, 12, др.] (рис. 1). Порядковые номера в обозначениях конструкторских документов «zzz» (см. рис. 1) присваиваются, как правило, в порядке очередности разработки КД: подошел срок разработки документа – ему присвоен порядковый номер. Но по одному и тому же судовому объекту может разрабатываться несколько документов – комплект (табл. 1, ко-

онно-штатной структуры КБС под структурированные информационные потоки.

Электронная информационная логистика в проектной области судостроения использует методы сетевого планирования, формальной логики, лингвистики, базируется на требованиях государственных и отраслевых стандартов судостроительной промышленности, а также других нормативных актов в области технического регулирования производственной деятельности. Синтез электронной информационной логистики и концепции бережливого производства способствует развитию производственной системы конструкторского бюро судостроения.

**ПРИМЕР РАЗРАБОТКИ
УНИВЕРСАЛЬНОЙ
НОМЕНКЛАТУРЫ РАБОТ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ КБС И НА ЕЕ
ОСНОВЕ ФОРМИРОВАНИЯ
ПЕРЕЧНЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ
ДОКУМЕНТАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ПРОЕКТА СУДНА**

Универсальная номенклатура конструкторских работ производственных подразделений КБС (далее – Номенклатура конструкторских работ) разрабатывается на принципах функционирования системы электронной информационной логистики – «универсального шаблона», «единой структуры», «единой терминологии» и «минимальных предстоящих изменений». Первый шаг разработки Номенклатуры конструкторских работ – это выбор судовых объектов, находящихся в заведовании каждого производственного подразделения КБС: судовые системы, судовые помещения, судовое оборудование и др. (табл. 1, колонка 1). Заметим, что в заведовании производственных подразделений могут быть не только материальные судовые объекты, но и свойства судна: «стойчивость» «пожаробезопасность», «непотопляемость» и пр., по которым разрабатываются соответствующие технические документы.

В Номенклатуру конструкторских работ должны войти наименования всех объектов, находящихся в заведовании производственных подразделений: систем, помещений и оборудования, которые ранее применялись в выполненных проектах судов и которые предполагается применять на будущих проектах (таблица 1, колонка 1). Номенклатура и наименования объектов, в частности, судовых систем, как правило, регламентируются нормативными документами [8, 13], но специфика проектируемых судов может привести к расширению номенклатуры наименований судовых объектов.



Рис. 1. Структура обозначения конструкторского документа

лонка 2 – Система вентиляции). Каждому КДТП должен быть присвоен свой порядковый номер, что впоследствии создает неудобства при комплектовании КДТП. Альтернативным вариантом может стать одновременное, еще до начала проектных работ, присвоение порядковых номеров всем КДТП по номенклатуре работ каждого производственного подразделения КБС (табл. 1, колонка 3). При этом комплекту КДТП по каждому судовому объекту может быть присвоен единый порядковый номер (табл. 1, колонка 3 – Система вентиляции). В этом случае отличительной особенностью обозначения каждого КДТП будет «Код КД» – «КК» (рис. 1). Если по одной судовой системе выполняется несколько однотипных конструкторских документов, например, несколько видов расчетов, то можно рассматривать все расчеты как один вид КД, но исполненный в нескольких книгах «n» (рис. 1; табл. 1, колонка 3, PP1, PP2).

На разных проектах проектируемых судов номенклатура судовых объектов (системы, помещения, оборудование) сохраняется практически неизменной, как и номенклатура разрабатываемой по ним конструкторской документации. Поэтому каждому отдельному документу (табл. 1, Опреснительная установка) и комплекту конструкторских документов по судовому объекту (табл. 1, Система вентиляции) можно присвоить постоянный порядковый номер «zzz» в обозначении КД (рис. 1; табл. 1, колонка 3).

В итоге «Универсальная номенклатура конструкторских работ производственных подразделений КБС» (табл. 1) становится универсальным шаблоном, который можно использовать при разработке «Перечня конструкторской документации технического проекта» очередного проекта судна. Для этого:

- универсальный шаблон Номенклатуры конструкторских работ (табл. 1) копируют;
- из шаблона удаляют все судовые объекты (вместе с наименованиями соответствующих конструкторских документов), которые не предполагается устанавливать на данном проекте судна;
- из шаблона исключают наименования КД, которые не предполагается разрабатывать для судовых объектов, предусмотренных на данном проекте судна;

- в структуре обозначений всех КД элемент «xxxxx» заменяется на номер разрабатываемого проекта судна. Благодаря функционалу компьютерного программного обеспечения замена может быть выполнена автоматически сразу во всей табл. 1;
- в табл. 1 удаляют колонку 1 с наименованием судовых объектов.

В результате описанного преобразования универсального шаблона Номенклатуры конструкторских работ появляется «Перечень конструкторской документации технического проекта судна _____» (табл. 1, колонки 2 и 3). Все наименования и обозначения конструкторских документов из этого электронного «Перечня...» можно одновременно внести в электронный архив КБС, куда впоследствии, по мере разработки, будут вноситься электронные файлы технических документов.

Не исключено, что с учетом специфики проектируемого судна или по требованию заказчика наименования некоторых судовых объектов, предусмотренных в «Универсальной номенклатуре ...» (табл. 1, колонка 1), будут нуждаться в изменении. В этом случае по решению главного конструктора проекта соответствующие наименования судовых объектов в «Перечне конструкторской документации технического проекта судна _____» (табл. 1 без колонки 1) должны быть откорректированы. При этом изменения в шаблон «Универсальную номенклатуру...» (табл. 1, колонки 1 и 2) не вносят.

Если при подготовке к выполнению работ по очередному проекту судна возникла необходимость в расширении номенклатуры судовых объектов по заведованию какого-либо производственного подразделения, то первоначально необходимо внести новый судовой объект (систему, оборудование, пр.) в соответствующий раздел «Универсальной номенклатуры ...» (табл. 1, колонка 1) и указать наименования разрабатываемых по нему КДТП (табл. 1, колонка 2). Для этих случаев в обеспечение реализации требований принципа «минимальных предстоящих изменений» в каждом разделе «Универсальной номенклатуры ...» необходимо зарезервировать порядковые номера для обозначения новых конструкторских документов (табл. 1, нижняя строка).

Если при разработке технического проекта по решению главного конструктора потребуется объединение систем, например, «системы судовой вентиляции» с «системой кондиционирования воздуха», то в «Перечне конструкторской документации технического проекта судна проекта» (табл. 1 без колонки 1) одну из объединяемых систем исключают, а вместо второй указывают наименование объединенной системы – «система вентиляции и кондиционирования воздуха». За объединенной системой сохраняется обозначение с меньшим порядковым номером. При этом изменения в «Универсальную номенклатуру ...» (табл. 1) не вносят.

Если при разработке технического проекта по решению главного конструктора потребуется разъединить систему, например, «систему парового отопления» на «систему парового отопления жилых помещений» и «систему парового отопления служебных помещений», то это изменение сначала отражают в «Универсальной номенклатуре ...» (табл. 1): исключают первоначальную систему и вместо нее вносят две новые. Техническим документам первой из них присваивают порядковые номера исключенной системы, а порядковые номера для КД второй системы присваивают из резервных номеров раздела (табл. 1, последняя строка).

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В. В., Андреева Н. А., Кулешов С. В. Методы построения информационно-логистических систем. – СПб., 2005.
2. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник. – 15-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2007.
3. Григорьев М. Н. Логистика. Базовый курс. – М.: Юрайт, 2011.
4. Даль В. И. Толковый словарь живого великорусского языка: избр. ст./Совмещ. ред. изд. В. И. Даля и И. А. Бодуэна де Куртэна. – М.: Олма-Пресс: Красный. пролетарий, 2004. – 700 с.
5. Дорогов Ю. В., Стешов А. В. Пути совершенствования речевой деятельности офицеров. – СПб.: Изд. ВМА им. Н. Г. Кузнецова, 1999.
6. Леонтьев А. А. Психология общения: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Психология». – 4-е изд. – М.: Академия «Смысл», 2007. – 365 с.
7. Шумаев В. А. Основы логистики: учеб. пособие. – М.: Юрид. институт МИИТ, 2016. – 314 с.
8. Классификатор ЕСКД. – Класс 36: Суда, судовое оборудование. 181837. – Государственный Комитет СССР по стандартам.
9. ГОСТ 2.102–2013. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторских документов, 2014.
10. ГОСТ 2.601–2019. ЕСКД. Эксплуатационные документы, 2020.
11. ГОСТ 2.701–2008. ЕСКД. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению, 2009.
12. ГОСТ 2.201–80. ЕСКД. Обозначение изделий и конструкторских документов, 2011.
13. ОСТ 5 Р 5349–2015. Системы и трубопроводы судовые. Термины и определения.
14. ГОСТ 23888–79. Рабочие конструкторские документы судостроительной верфи. Основные требования. ■

Судостроение включает в себя комплексный процесс обработки, сборки и монтажа конструкций, а также является трудоемкой и капиталоемкой отраслью. Перед судостроительными предприятиями нашей страны по-прежнему стоит проблема сроков строительства, которые отстают от аналогичных в Японии, Южной Кореи и других развитых странах. Поэтому совершенствование текущей технологии постройки судов и постепенное внедрение современных цифровых технологий становится неотъемлемым требованием развития отечественной судостроительной промышленности.

При формировании судовых блоков стоит выделить следующие основные *проблемы*: *первая* – это противоречие между существующими методами проектирования судов и цифровым, *вторая* – противоречие между длительным периодом подготовки и быстрым изменением конъюнктуры рынка и *последняя* – это противоречие между традиционным методом координации сборки и сборкой, основанной на технологии онлайн-детектирования. Для решения проблем необходимо реализовать, во-первых, инновационное цифровое проектирование. Судостроительные предприятия могут преодолеть технические барьеры на пути от проектирования до строительства судна, моделировать его постройку, чтобы выявить потенциальные проблемы и повысить эффективность производства. И, во-вторых, освоить высокоточное контрольно-измерительное оборудование. Строительство судов и кораблей включает в себя обработку и сборку тысяч деталей. Точность их изготовления и сборки влияют на качество сборки всего судна. Подобное контрольно-измерительное оборудование в сочетании с технологией размерного контроля – важное средство обеспечения качества. В статье анализируются современные состояние этих задач.

Цифровое судостроение основано на слиянии знаний о процессе судостроения, которое характеризуется цифровым моделированием, симуляцией и оптимизацией. Информационные технологии, передовые технологии цифрового производства и технологии судостроения всесторонне применяются на различных этапах всего жизненного цикла судна, который включает проектирование, производство, испытания, управление и техническое обслуживание.

Цифровое производство – основа современного судостроения, так как его характеристиками являются быстрота реагирования, высокое качество, низкая стоимость и хорошая гибкость. С помощью цифровой платформы разработки, проектирования, анализа и проверки производства и управления суда

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СБОРКИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В МИРЕ

К.О. Будников, ведущий инженер-технолог АО «Адмиралтейские верфи», аспирант СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 714 8502, budnikov.ko@mail.ru

могут отображаться в цифровом виде при моделировании и цифровом макетировании, изготавливаться методом цифрового управления, тестироваться с помощью виртуального прототипа и контролироваться с помощью цифрового моделирования.

В области цифрового проектирования и производства многие передовые судостроительные компании по всему миру широко используют коммерческое программное обеспечение, в том числе и для работы информационной системы. С развитием систем автоматизированного проектирования (САПР) судна началась эпоха 3D моделирования. Так, судостроительная система Tribon является самой популярной в судостроительной отрасли, ее предпочитают многие верфи.

Предприятия по всему миру в основном разрабатывали систему программного обеспечения виртуального моделирования, подходящую для себя, поскольку они имеют разную организацию и порядок строительства. Процесс проектирования и производства тесно связан с цифровыми технологиями.

Одна из первых технологий компьютерного моделирования была реализована в США. Управление перспективных исследовательских проектов министерства обороны США (DARPA) предложило систему проектирования кораблей нового поколения под названием «Проектирование кораблей на основе виртуального моделирования». В этой системе были объединены технология виртуального проектирования и технология сборки для анализа процесса проектирования, изготовления и обслуживания судна [1]. В сентябре 2000 г. шесть крупнейших судостроительных компаний США совместно построили виртуальное предприятие. В этот альянс входили судостроительные подрядчики, поставщики и заказчики судов, надзорные органы и исследовательский отдел. Они разработали первую в мире систему жизненного цикла изделия для судостроения, основанную на методе взаимодействия проектирования и управления строительством.

В апреле 2002 г. южнокорейское предприятие Samsung Heavy Industry также сформировало план разработки цифровой системы судостроения и раз-

работало ее через два года [2]. Эта система может моделировать весь процесс судостроения от резки стального листа до спуска судна на воду в виртуальной среде. Персонал завода-строителя может моделировать и оптимизировать загрузку, метод строительства, логистику и применение автоматизации до постройки судна, чтобы значительно повысить эффективность производства. Это стало вехой, свидетельствующей о переходе отрасли от традиционной технологии постройки судов к цифровой.

Верфь Maier в Германии приступила к реализации плана виртуального производства судов в 2004 г. В проекте использовалась новейшая система управления жизненным циклом продукта BIM. Инженер предприятия мог завершить проектирование и разработку судов в трехмерной виртуальной среде в этой программной системе. Данная система позволила сократить время проектирования судна на 30%, время строительства на 20 %, а качество продукции на 50 %.

Верфь Daewoo в Южной Кореи запустила в 2010 г. систему моделирования процесса строительства судна на основе ядра моделирования с дискретным временем [3, 4]. Основываясь на предыдущем опыте судостроения и цифровых технологиях, инженеры построили в системе виртуальную верфь, которая также может имитировать весь процесс судостроения от резки стального листа до спуска судна на воду.

В 2011 г. на верфи SembCorp в Сингапуре была разработана платформа моделирования блочного строительства судов, которая способствует оптимизации планирования секционной постройки [5].

Верфь Hudong Zhonghua в Китае разработала собственную корпоративную информационную систему HDS-CIMS и интеграцию оболочки, оснащения и покраски изделий судна. Это программное обеспечение постепенно заменило импортное программное обеспечение для проектирования. Верфь Waigaoqiao самостоятельно разработала программную систему SEM (система управления судостроительным предприятием). Верфь Jiangnan много инвестировала в аппаратные и программные

системы. Научно-исследовательский институт на этой верфи проводит исследования по преобразованию гетерогенных электронных моделей совместно с Научно-исследовательским институтом технологий судостроения (STRI), который, как ожидается, совершит прорыв в этой области. Этот институт разработал трехмерную систему проектирования и производства (SB3DS) [6]. Основанная в 2008 г. Национальная инженерная лаборатория цифрового судостроения занимается исследованиями в области технологий интеграции информации, виртуального производства и точного судостроения.

В судостроительной отрасли мира наступила эпоха цифровизации. В дополнение к коммерческому программному обеспечению передовые судостроительные предприятия проводили исследования в области технологий оптимизации и моделирования ресурсов. С помощью 3D-моделирования, компьютерной графики, технологии виртуального моделирования и других теорий и методов качественно оценить себестоимость и цикл строительства судна намного проще. Эти технологии в сочетании с теоретическими разработками позволяют создать прикладную технологическую систему для обеспечения качества и эффективности судостроения.

Производство высококачественной продукции не только зависит от высокоточного технологического оборудования, но и требует высокоточного контрольно-измерительного оборудования. Внедрение данной измерительной техники в судостроении неизбежно.

Поверхность корпуса представляет собой сложную трехмерную криволинейную поверхность с двойной степенью кривизны, которая не может быть описана регулярной аналитической поверхностью. В настоящее время разработано множество методов исследования обнаружения некоторых основных геометрических элементов, таких как точка, линия, поверхность, окружность, сфера, цилиндр и т.д. [7].

Принцип технологии обнаружения свободной поверхности частей судна такой же, как и в других отраслях промышленности, таких как автомобильная и аэрокосмическая. Достижения общетехнических исследований могут быть применены к поверхностному контролю частей судов. Традиционные методы в основном включают ручное обнаружение поверхности в автономном режиме, которое имеет низкую эффективность, а значит, и низкую точность обработки продукта, что влияет на его качество и приводит к снижению коэффициента использования оборудования. Установка вольерной головки на станки с

ЧПУ не изменяет исходный программно-аппаратный комплекс оборудования. В этом методе основная функция промышленной трехкоординатной измерительной машины переносится на обрабатывающее оборудование с ЧПУ, что может эффективно повысить точность обнаружения и избежать субъективной ошибки из-за ручного управления [8]. Сегодня ключевые технические трудности в оперативном обнаружении искривленной поверхности связаны с измерением и планированием траектории, компенсацией ошибок и точностью измерения поверхности.

Измерение поверхностей произвольной формы разделено на два этапа. Цифровая обработка поверхности проводится сначала по правилу «поверхность – кривая – точки». Затем определяется траектория движения измерительной головки для контактного измерения. Плотность точек измерения может варьироваться в зависимости от кривизны поверхности. Чем больше кривизна, тем плотнее область точек. Ли Цзянь [9] предложил метод адаптивного размещения точек измерения в соответствии с конкретной геометрией измеряемой поверхности, при котором плотность распределения точек измерения изменяется в зависимости от изменения кривизны. С помощью этого метода можно оптимизировать точность измерения и повысить ее эффективность. Шао Вей [10] предложил метод планирования пути измерения на основе информации о местоположении. Теория адаптивного управления была применена в измерительной головке для реализации автоматического управления слежением. Чтобы реализовать высокоскоростное, точное, сканирующее измерение свободной поверхности, измерительная головка была настроена на автоматическую регулировку своего положения при изменении поверхности.

Технология оперативного обнаружения деталей с криволинейной поверхностью значительно продвинулась в разработке системы, сборе данных, планировании траектории и компенсации ошибок. Тем не менее все еще требуется повышение скорости измерения с учетом сложности окружающей среды и ошибки измерений.

Традиционный метод сборки корпуса из корпусных конструкций выполняется с использованием грузоподъемного крана. Регулировка и позиционирование секций и блоков осуществляются с помощью множества стяжек, домкратов и обухов. Основными недостатками этого метода являются относительно низкая степень использования крана, длительность цикла, высокая трудоемкость рабочих и низкая точность позиционирования при сборке. Технологии

и методы сбора информации являются предпосылкой для внедрения информационных технологий в цифровое производство.

Размерный контроль – это одна из цифровых производственных технологий, в том числе цифровых технологий стыковки судов и других крупномасштабных продуктов. В настоящее время технология отслеживания и измерения корпуса и стыкового соединения все еще находится на предварительной стадии, которая в основном базируется на технологии измерения стыковки фюзеляжа самолетов. Прогнозировать направление развития технологии слежения за соединением блоков можно на основе обобщения технологии относительных измерений.

Положения конструкции чаще измеряют с помощью лазерного трекера. Технология лазерных измерений имеет такие характеристики, как бесконтактность, отсутствие направляющей, высокая скорость обнаружения, хорошая портативность.

Проведены исследования технологии и принципа цифровой сборки для стыковки компонентов летательных аппаратов на основе лазерного слежения и позиционирования. Система лазерных измерений была разработана на основе программного пакета лазерного трекера. Система лазерного слежения и измерения позиционирования подключается через сеть. Данные измерений, полученные лазерной системой слежения и позиционирования, напрямую возвращаются на системный компьютер после обработки измеренных данных. Затем компьютер сравнивает их с точной математической моделью, чтобы получить правильное значение положения сборки.

Технология лазерных измерений широко используется в системе стыковки фюзеляжей самолетов и корпусов ракет. Пример лазерной системы показан на рис. 1. Такие системы, как правило, содержат цифровую измерительную систему, механизм регулировки положения и ориентации, систему управления и систему обработки данных. Цифровая измерительная система используется для быстрого и точного измерения положения и ориентации компонентов. Система обработки данных применяется для анализа и расчета теоретического положения, система управления – для регулировки положения и отношения компонентов.

Современная технология судостроения движется в сторону более высокой степени автоматизации, механизации, модульного и цифрового направления. Передовые производственные технологии авиационной и аэрокосмической промышленности постепенно внедряются в область судостроения. Ключевыми исследованиями является:



Рис. 1. Лазерная система Nikon, используемая в авиастроении [11]

- системная интеграция программного обеспечения для моделирования и измерительного оборудования;
- исследование высокоскоростных и точных технологий для измерений в реальном времени, технологии слияния различных данных измерений датчиков.

Цифровая производственная система должна воспринимать состояния, выполнять анализ в реальном времени, автономно принимать решения и точно их реализовывать. Информация о работе в реальном времени и данные, полученные от сенсорной системы, могут использоваться для моделирования в реальном времени в системе виртуального моделирования. Экспертная система может принять решение, а затем передать информацию исполнительному механизму в соответствии с результатами моделирования [12]. Структура цифровой строительной системы (рис. 2) для судовых блоков может быть предложена на основе концепции цифровой производственной системы.

В составе системы четыре основных модуля, что соответствует четырем этапам строительства судовых блоков.

С помощью высокоточных датчиков и оборудования для лазерной локации инженеры могут удаленно получать информацию о текущем состоянии оборудования. Эти данные, хранящиеся в базе данных, являются основой для имитационного анализа в системе.

Данные, полученные из цеха в режиме реального времени, обрабатываются программным обеспечением виртуального моделирования для имитации будущей работы оборудования. Результаты моделирования обеспечивают поддержку для принятия решений.

Следующий этап производственного планирования устанавливается путем сравнения опыта, полученного из базы знаний, с результатами моделирования. Корректировка и дополнение базы знаний происходят одновременно с производством.

Рассмотренные технологии – важная основа цифрового судостроения, способствующая повышению эффективности и качества отечественного судостроения. Это может повысить уровень работы судостроительных предприятий и способствовать обновлению философии и методики их управления.

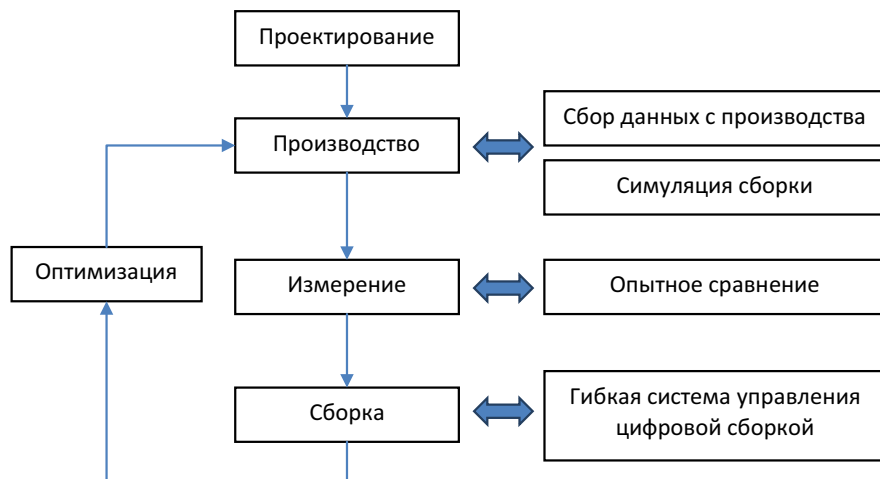


Рис. 2. Структура цифровой строительной системы судовых блоков

Систематический и структурированный метод размерного контроля позволит автоматизировать этот процесс, что будет способствовать повышению качества продукции и конкурентоспособности отрасли, благодаря сокращению времени и затрат на производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Andrews D., Casarosa L., Pawling R. Integrating the simulation of operations into preliminary ship design.// J. of Experimental Biology. – 2002. – №205(14). – P. 2107–13.
2. Lee K., Shin J. G., Ryu C. Development of simulation-based production execution system in a shipyard A case study for a panel block assembly shop// Production Planning & Control. – 2009. – №20(8). – P. 750–768.
3. Cha J.H. Combined discrete event and discrete time simulation framework and its application to the block erection process in shipbuilding// Advances in Engineering Software. – 2010. – №41(4). – P. 656–665.
4. Cha J.H. Development of a simulation framework and applications to new production processes in shipyards// Computer-Aided Design. – 2012. – №44(3). – P. 241–252.
5. Liu Z., Chua D. K., Wee K. H. A Simulation Model for Spatial Scheduling Dynamic Block Assembly in Shipbuilding// J. of Engineering, Project and Production Management. – 2011. – №1(1). – P. 3–12.
6. Cao Yu-jiao. Development actuality about the digital shipbuilding in our country// Ship engineering. – 2008. – №30(3). – P. 6–9.
7. Li Y., Gu P. Inspection of free-form shaped parts// Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2005. – №21(4–5). – P. 421–430.
8. Zhu Jincai, Gao Jian, Chen Xin. State of the art of On-line Inspection Technology for Parts with Free-form Surface. machine// Tool & hydraulics. – 2007. – №35(8). – P. 218–222.
9. Li Jian, Wang Wen, Chen Zichen. State Searching Adaptive Measuring Technique for Free-form Surface Parts// Chinese journal of scientific instrument. – 2002. – №23(5). – P. 530–533.
10. Shao Wei, Guo Junjie. Surface online measurement planning based on acquired real state information// Manufacturing Technology & Machine Tool. – 2012. – №(6). – P. 118–122.
11. APDIS MV4×0 Laser Radar. Automated Non-Contact Measurement. <https://www.nikonmetrology.com/en-gb/3d-metrology/large-volume-metrology-apdis-mv4x0>
12. Wu Xiao-feng, Yue Hong, Shi Yao et al. Current status and development trend of smart manufacturing technology and standardization of China's shipbuilding industry// Shipence and Technology. – 2016. – №38(5). – P. 1–6.
13. СТО ОСК. КСМК 06.003–2021 СМК. Высокоточные координатно-измерительные системы, предназначенные для поставки в общества Группы ОСК и их эксплуатации. Общие требования. ■

Работы по освидетельствованию и ремонту изделий судового оборудования регулируются действующими государственными и отраслевыми стандартами, руководящими документами ВМФ и промышленности, техническими условиями, судовыми эксплуатационными документами (технические описания, паспорта, формуляры), различными техническими указаниями и технологическими инструкциями. Порядок и периодичность выполнения этих работ, а также установленные сроки службы изделий регламентируются, как правило, техническими условиями, разработанными в соответствии с требованиями ГОСТ 2.114–2016 [1].

Головные предприятия-исполнители госзаказа в рамках работ по проведению сервисного обслуживания и ремонта кораблей и судов ВМФ регулярно проводят освидетельствования и ремонт якорных цепей. Однако на сегодняшний день единого руководящего или нормативного документа, содержащего технические требования к этим работам и охватывающего всю их номенклатуру по типоразмерам, материалу изготовления и существующим производителям, не существует. Единственным действующим документом, содержащим технические требования к изготовленным якорным цепям, правила приемки готовых сборочных единиц якорных цепей и методы их испытаний, является ГОСТ 228–79 [2].

В связи с отсутствием альтернативных документов технические требования этого ГОСТ [2] зачастую учитывают и при дальнейшей эксплуатации якорных цепей, что приводит к нарушению алгоритма действий при их освидетельствовании и ремонте. Из отечественных поставщиков якорных цепей для нужд ВМФ как потенциального исполнителя технических условий на их поставку, имеющего одобрение ФАУ «Российского морского регистра судоходства» (РМРС), можно выделить АО «Завод Красный якорь» (г. Нижний Новгород). Однако, как правило, при их поставке для нужд ВМФ, т.е. подлежащих приемке Военным представительством МО РФ, отсутствуют технические условия, разработанные в соответствии с ГОСТ 2.114–2016 [1]. Одним из основных требований, вызывающих разногласия между судовладельцем, личным составом корабля, предприятием, выполняющим ремонт, и другими организациями, задействованными в процессе сервисного обслуживания и ремонта якорных цепей, является требование их обязательной термообработки (отжига) и испытаниям пробной нагрузкой. Дело в том, что некоторые предприятия промышленности периодически сталкиваются с проблемой снижения прочности

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПРИ ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИИ И РЕМОНТЕ ЯКОРНЫХ ЦЕПЕЙ КОРАБЛЕЙ И СУДОВ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

А.С. Мешков, начальник сектора АО «51 ЦКТИС»,
контакт. тел. +7 (904) 647 8922, 2otd@51cktis.ru

якорных цепей по пределу текучести после их отжига, что приводит к необходимости их выбраковки.

В п. 3.4 технических требований ГОСТ 228–79 говорится: «Сборочные единицы и детали якорных цепей подвергают термической обработке по режиму, установленному изготовителем цепи. При этом обработку сварных цепей категории 1 и 2 можно не проводить, если они изготовлены из термически обработанного проката или в процессе изготовления подверглись нагреву до температуры нормализации».

Детали якорных цепей изготавливают в основном из отливок по ГОСТ 977–88 [3], в п. 3.2 которого есть оговорка о «необязательности» проведения термической обработки изделий в ряде случаев – в зависимости от вида используемых материалов. При этом, согласно этому ГОСТ, «число допустимых полных термических обработок отливок не должно быть более трех, а для отливок из аустенитных и аустенитно-ферритных легированных сталей со специальными свойствами – не более двух». В рекомендуемом Приложении 3 к ГОСТ 977–88 также приведены режимы термической обработки конструкционной легированной и нелегированной сталей. Технические требования ГОСТ 228–79 и ГОСТ 977–88 распространяются на изготавливаемые якорные цепи, их сборочные единицы и детали, а термическая обработка после изготовления направлена на улучшение их физико-механических показателей.

После того как цепь установлена на корабле (судне), необходимо выполнить все мероприятия по поддержанию ее технического исправного состояния и работоспособности, в том числе проводить регулярные осмотры, проверки и ремонты (при необходимости), исключая разрушение и потерю якорных цепей в процессе эксплуатации. Работы должны проводиться в соответствии с «Методическими указаниями по освидетельствованию и испытанию якорных цепей пробной нагрузкой» (Приложение 6 РЭКУС-НК–2009 [4] и Приложение 7 РЭКУС-ПЛ–2009 [5]), которые составлены с учетом требований ГОСТ 228–79 [2].

В перечне мероприятий по освидетельствованию якорных цепей вышеуказанных «Методических указаний» Руководств [4, 5] присутствует требование о проведении их термообработки (отжига) и испытания пробной нагрузкой, которые должны проводиться при каждом заводском ремонте, но не реже одного раза в 5 лет, и в случае замены дефектных звеньев. Это обязывает предприятия, проводящие ремонт якорных цепей, выполнять отжиг и испытание пробной нагрузкой каждые 5 лет в период всего жизненного цикла корабля (судна), что приводит порой к возникновению определенных проблем при их освидетельствовании.

Для судов, поднадзорных РМРС, разработано «Руководство по техническому наблюдению за якорным оборудованием» (Приложение № 50 НД № 2–030101–009 [6]). По требованиям РМРС термической обработке должна быть подвергнута смычка цепи по режиму, установленному ремонтным предприятием, после ремонта дефектных звеньев; после термической обработки должно быть проведено испытание смычки пробной нагрузкой в соответствии с Правилами постройки РМРС. О проведении обязательной термообработки якорной цепи после ремонта, а, тем более, в процессе очередного освидетельствования, речи не идет. Прочность цепи определяется прочностью ее самого «слабого» звена, так как разрушение любого звена делает цепь непригодной к использованию. Таким образом, главная цель отжига после ремонта – исключить возникновение этого самого «слабого» звена в якорной смычке, добиться однородности материала звеньев, а не увеличить прочность всей цепи.

Чтобы выяснить, насколько выполнение требований Руководств [4, 5] может повлиять на результаты освидетельствования якорных цепей и быть причиной их выбраковки и замены, для начала следует обратиться к истории создания стальных якорных цепей, появлению понятий «термообработка» и «отжиг».

Якорные цепи появились в связи с появлением судов и кораблей большой грузоподъемности. Они заменили собой якорный пеньковый канат, как не са-

мое надежное судовое приспособление, вследствие его восприимчивости к воздействию атмосферы и водной среды, под действием которой он разрушается, растягивается и теряет свою прочность. Преимуществом использования стальной якорной цепи – еще и в том, что сила рывков, неизбежно возникающая при стоянке судна во время волнения, гасится за счет выпрямления провисшей цепи между кораблем и якорем, а большой вес цепи способствует устойчивому грунтозацепу. Это обеспечивается тем, что часть цепи, примыкающая непосредственно к якорю, ложится на грунт, создавая дополнительное сопротивление и, главное, и не позволяет веретену якоря подниматься. Тяжелая стальная цепь решает эту задачу, а пеньковые канаты не могут заставить веретено якоря принять горизонтальное положение. Таким образом, цепь работает как амортизатор, с увеличением волны цепь стравливается примерно на три длины судна и лежит на дне. На канатах рекомендуется стоять только в закрытых акваториях. Кроме того, пеньковые канаты перетираются о якорный клюз и срезаются льдом, а чтобы компенсировать их малый вес, приходится утяжелять якорный шток.

Сейчас подавляющее большинство морских судов мира оборудовано сварными или литыми цепями с контрфорсами.

Однако в процессе эксплуатации якорных цепей существует ряд проблем. При производстве якорных цепей не всегда учитывают то, что «прочность цепи равна прочности ее самого слабого звена». Именно лопнувшее звено якорной цепи приводит к авариям и кораблекрушениям. После случаев аварий и гибели людей вследствие браков и дефектов отдельных звеньев цепей Регистр Ллойда в 1859 г. выработал требования к предварительным испытаниям якорных цепей перед поставкой их на суда. Спустя два года в Лондоне начала работать первая лаборатория для испытания на растяжение якорных цепей, изготавливаемых в Англии. Проба цепей на разрыв была введена в стране только в 1879 г.

У якорных цепей в процессе эксплуатации выявился еще один недостаток: они обрывались даже при умеренном ветре. Испытанная цепь зачастую выдерживала ураганный ветер, а потом неожиданно лопалась. Как правило, это происходило после нескольких, следующих одна за другой якорных стоянок на сильном волнении. Так моряки впервые столкнулись с проблемой образования на поверхности цепи наклепа (наклепанного слоя, корки), который при растягивающих и изгибающих нагрузках, а также при ударах легко дает трещины, распространяющиеся в тело звеньев.

Следовательно, местный наклеп делает звенья хрупкими и понижает прочность цепи, особенно при ударных нагрузках.

По результатам исследований, итоги которых изложены в статье [8], было выявлено, что разрушение наклепанного слоя усиливается при наличии в металле большого количества оксидных и силикатных включений. Они образуются при раскислении стали и представляют собой соединения кислорода и кремния, которые в основном переходят в шлак, и только незначительная их часть остается в стали в виде простых и сложных оксидных и силикатных неметаллических включений.

Неметаллические включения в большинстве случаев оказывают вредное влияние на свойства металла: уменьшают прочность и пластичность, понижают сопротивление коррозии, ухудшают технологические свойства. Для улучшения механических свойств стальных якорных цепей начали выполнять отжиг: протаскивают цепь через печь, разогревают до темно-вишневого цвета и потом медленно охлаждают под слоем древесной золы. Исследования показали, что при отжиге в печи устраняется структурная неоднородность в деталях и заготовках.

В современном судостроении для изготовления якорных цепей используют высококачественные легированные и нелегированные стали с минимальным содержанием неметаллических включений и отсутствием пористости, рыхлости, газовых камер, трещин и других дефектов, нарушающих сплошность металла, поэтому они не так сильно подвержены образованию наклепа, но процедура термообработки – одна из важнейших операций при изготовлении якорных цепей.

Вместе с тем необходимость отжига якорных цепей при их освидетельствовании и ремонте в период эксплуатации, согласно требованиям Руководств [4, 5], вызывает сомнение. Выполнение отжига смычек якорной цепи в ходе дефектации и ремонта может повлечь к ухудшению их прочностных характеристик. Испытание на растяжение пробной нагрузкой после отжига смычки якорной цепи со сниженными прочностными характеристиками неизбежно приведет к ее вытягиванию и, соответственно, выбраковке. Это влечет за собой дополнительные затраты и увеличение сроков выполнения докового ремонта судов.

Выбраковка якорных цепей возможна не только из-за непосредственно отжига, но и по ряду других причин, например, из-за явного увеличения ранее нанесенных макроструктурных повреждений и деформаций вследствие многократных термообработок и испытаний, а также

неправильного выбора режима отжига в период прежних ремонтов, которых за время эксплуатации может насчитываться в среднем от пяти до десяти. Это происходит по причине того, что на кораблях и судах, как правило, отсутствует необходимая информация о материале, из которого изготовлена цепь, а следовательно, и о режимах термической обработки при ее производстве, так как указание этой информации не предусмотрено требованиями ГОСТ 228–79. Восполнить эти характеристики можно только после проведения лабораторного анализа образцов-свидетелей, вырезанных из звеньев исследуемой смычки цепи, что абсолютно неприемлемо. Для решения этой проблемы необходимо пересмотреть требования ГОСТ 228–79, предусмотрев включение в комплект поставки якорных цепей на корабль (судно) документ, содержащий информацию о материале, из которого изготовлена якорная цепь, например, сертификат или паспорт. Таким образом, требование о необходимости проведения обязательной термообработки (отжига) якорных цепей в период заводского ремонта, но не реже одного раза в 5 лет, следует отменить, за исключением ремонта, связанного с заменой бракованных звеньев. Требования «Руководства по техническому наблюдению за якорным оборудованием РМРС» (Приложение № 50 НД № 2–030101–009 [6]), в которых указано, что термической обработке подвергается только смычка цепи после замены дефектных звеньев, считая технические обоснованным и применимым на всех кораблях и судах.

Хочется отметить, что помимо замены дефектных звеньев и использования при этом сварочных работ, возможны другие методы термического воздействия на основной металл деталей цепи, такие как подварка контрфорсов, заварка и наплавка дефектов. В таких случаях для снятия повышенной напряженности на участках, подверженных сварке и наплавке, достижения однородности структуры металла деталей цепи также необходимо проводить термообработку ремонтируемой смычки цепи. После указанных работ смычки цепей должны подвергаться термической обработке – нормализации (для стали 20Х до температуры в пределах 850–870 °С) с охлаждением на воздухе.

Требование РМРС о назначении режима термообработки предприятием, проводящим ремонт якорной цепи, представляется единственно правильным. Решение о необходимости проведения термообработки и выбора ее режима находящейся в ремонте смычки цепи специалисты судоремонтного предприятия должны принимать, учитывая факт наличия информации от предприятия-изготовителя о материале якорной цепи

и технологии ее термообработки. При этом судоремонтное предприятие будет нести ответственность за сохранение или восстановление прочности якорной цепи и ее надежности при дальнейшей эксплуатации на установленный после ремонта срок.

В Руководствах по эксплуатации корпуса, систем и устройств кораблей и судов ВМФ [4] и [5] требование об обязательной термообработке (отжигу) якорных цепей не реже одного раза в 5 лет или после очередного заводского ремонта технически необоснованно. Эти требования рекомендуется переработать и изложить в соответствии с приведенными выше тезисами, а технические требования ГОСТ 228–79 [2], который активно используется эксплуатирующими и ремонтными предприятиями и организациями, применять для решения соответствующих этим требованиям задач в части, касающейся освидетельствования и ремонта якорных цепей. Это позволит освободить отечественные предприятия от бессмысленных дорогостоящих операций, приводящих порой к непоправимым последствиям и порче вполне исправных изделий.

Таким образом, можно сформулировать общие рекомендации организациям, выполняющим освидетельствование и ремонт якорных цепей:

- обязательную термообработку (отжиг) якорной цепи при заводском ремонте (не реже одного раза в 5 лет) следует отменить, так как при отжиге показатели прочности и твердости снижаются, а показатели пластичности возрастают. Термообработку смычки якорной цепи при заводском ремонте необходимо выполнять по технологии ее завода-изготовителя после замены дефектных звеньев, а также ремонта деталей смычки якорной цепи с использованием сварки или наплавки;
- термообработка должна проводиться только при наличии документов (сертификатов), содержащих данные о материале, из которой изготовлена цепь. При отсутствии вышеуказанных документов термообработку якорной цепи выполнять нецелесообразным, так как существует высокая степень риска неправильного выбора ее режима, особенно превышения температуры нормализации, что приведет к неизбежной потере прочности и вытягивании цепи на цепопробном стане;
- в случае отсутствия определенных заводом-изготовителем сведений о режиме термообработки, величинах пробной и разрушающей нагрузок для испытания якорной цепи головной исполнитель ремонта должен определять технологию термообра-

ботки и испытаний с привлечением специализированной материаловедческой организации в области судостроения.

Для исключения ошибок при выборе режимов термообработки в ходе ремонта якорных цепей необходимо рекомендовать их изготовителям разрабатывать и предоставлять в комплекте с изделием технические условия в соответствии с ГОСТ 2.114–2016 [1], где должны быть приведены технические требования к основным параметрам и характеристикам, к составу и структуре, физическим, физико-химическим, механическим и другим свойствам материала (прочность, твердость, теплостойкость, износостойчивость и т. п.), требования к технологичности, определяющие пригодность изделия к изготовлению, эксплуатации, ремонту с минимальными затратами при заданных значениях показателей качества, виды и периодичность технического обслуживания и другие требования. Кроме того, технические условия должны содержать показатели, определяющие надежную эксплуатацию якорных цепей в период установленных сроков их службы, а также программу и методику освидетельствования после истечения установленного изготовителем срока службы с целью его продления на определенный период.

В 2000 г. АО «51 ЦКТИС» были разработаны «Общие технические условия на ремонт» АФВГ.362210.501 ОС [7], в которых представлены методы и критерии, по которым необходимо проводить дефектацию, определять необходимость ремонта или замены деталей якорных цепей. Например, в этом документе приведены критерии оценки технического состояния отдельных деталей якорной цепи с учетом наличия коррозионных разрушений, механического износа, удлинения звеньев в процентном соотношении от построечных величин. Это значит, что не все требования общих технических условий ГОСТ 228–79 при рациональном подходе целесообразно выполнять при освидетельствовании и ремонте якорных цепей в процессе эксплуатации. Однако практика показывает, что требований АФВГ.362210.501 ОС [7] недостаточно для исключения возникающих проблем при освидетельствовании якорных цепей.

С учетом изложенного, с целью определения оснований и критериев для принятия решения предприятием, проводящим освидетельствование и ремонт якорной цепи, о необходимости проведения термообработки якорной цепи или ее смычки, исключения двоякого толкования требований руководящих документов целесообразно разработать силами специализированной организации соответствующий руководящий

документ (инструкцию), содержащий основные понятия по термообработке, справочные данные, технические требования, алгоритм выполняемых мероприятий. В его разработке готовы принять активное участие специалисты АО «51 ЦКТИС» совместно с научно-исследовательскими, эксплуатирующими и ремонтными организациями, при их экспертной и технической поддержке, обмене опытом, согласовании рекомендаций.

ВЫВОДЫ

1. Исходя из вышеизложенного, в Руководствах по эксплуатации корпуса, систем и устройств кораблей и судов ВМФ [4, 5], рекомендуется исключить требование об обязательной термообработке (отжигу) якорных цепей не реже одного раза в 5 лет или в период очередного заводского ремонта и изложить в соответствии с приведенными выше тезисами.

2. Внести изменения в ГОСТ 228–79 [2], предусмотрев включение в комплект поставки якорной цепи документа, содержащего информацию о материале, из которого изготовлена якорная цепь, например, сертификат или паспорт.

3. Целесообразно разработать руководящий документ (инструкцию), устанавливающий критерии для определения необходимости ремонта при освидетельствовании и технические требования к выполнению дефектации и ремонта, в том числе, термообработки цепей.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2.114–2016. Единая система конструкторской документации. Технические условия.
2. ГОСТ 228–79. Цепи якорные с распорками. Общие технические условия.
3. ГОСТ 977–88. Отливки. Общие технические условия.
4. РЭКУС-НК–2009. Руководство по эксплуатации корпуса, систем и устройств кораблей и судов ВМФ.
5. РЭКУС-ПЛ–2009. Руководство по эксплуатации корпуса, систем и устройств подводных лодок.
6. Руководство по техническому наблюдению за якорным оборудованием (Приложение №50 к Руководству по техническому наблюдению за судами в эксплуатации РМРС, 2020).
7. АФВГ.362210.501 ОС. Якорное, швартовное и буксирное устройство. Общие технические условия на средний ремонт («51 ЦКТИС»).
8. Ващенко И.П. Выявление причин разрушения соединительного звена якорной цепи. – В кн.: В.В. Андреев. Судостроительные материалы. – Л.: Судостроение, 1985. – 120 с.
9. http://www.mstu.edu.ru/science/conferences/11ntk/materials/section18/section18_07.html (МГТУ, 2000). ■

Характерной особенностью профессиональной деятельности членов судовых экипажей, а также иных категорий лиц, выполняющих свои профессиональные обязанности на судах (в частности, членов научных коллективов, проводящих экспедиционные исследования), является значительная продолжительность пребывания в ограниченном пространстве, воздействие существенных физических и эмоциональных нагрузок, а также различных факторов окружающей техногенной среды [1]. Многочисленными медико-биологическими исследованиями установлено влияние уровня акустических колебаний, распространяющихся в окружающей среде, на психоэмоциональные и соматические аспекты функционирования организма человека, показатели его работоспособности, деятельности его органов и систем [2–4]. Таким образом, неблагоприятный акустический фон усугубляет действие негативных факторов длительной работы на судне в открытом море.

Источниками неблагоприятного акустического фона («акустических загрязнений», «шумов») могут выступать как внутренние процессы (например, функционирование судовых машин и механизмов), так и внешние (например, соударение волн и льда с корпусом); такие колебания распространяются по элементам конструкции корпуса, чья значительная звукопроводимость обуславливает проникновение шума в помещения, территориально удаленные от области локализации его источника.

Эффективность применения методов и систем снижения неблагоприятного воздействия акустических загрязнений зависит от функциональных возможностей и достоверности функционирования средств измерения уровня акустического фона, в связи с чем задача улучшения их эксплуатационных характеристик представляется бесспорно актуальной.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ АКУСТИЧЕСКОГО ФОНА И АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ИХ РАЗВИТИЯ

Классификационный анализ методов и средств измерений уровня акустических сигналов [5–8] позволяет сделать вывод о значимости дальнейшего их развития в направлении реализации систем адаптивной и интеллектуальной оценки степени влияния акустического фона: необходимо дальнейшее совершенствование методик, учитывающих совокупности условий, обстоятельств и факторов, сопутствующих акустическим измерениям.

Данная работа сосредоточена на развитии концепции построения адаптивных систем оценки уровня акустического фона с распределенной архитектурой, учитывающих специфику функциональ-

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ОЦЕНКИ УРОВНЯ АКУСТИЧЕСКОГО ФОНА В СУДОВЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

А.Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой,
А.В. Вегнер, ассистент кафедры,
Д.Е. Голубева, ст. преподаватель,
А.С. Доценко, ассистент кафедры,
В.А. Карпенко, ассистент кафедры, СПбГМТУ,
 контакт. тел. (812) 713 8405

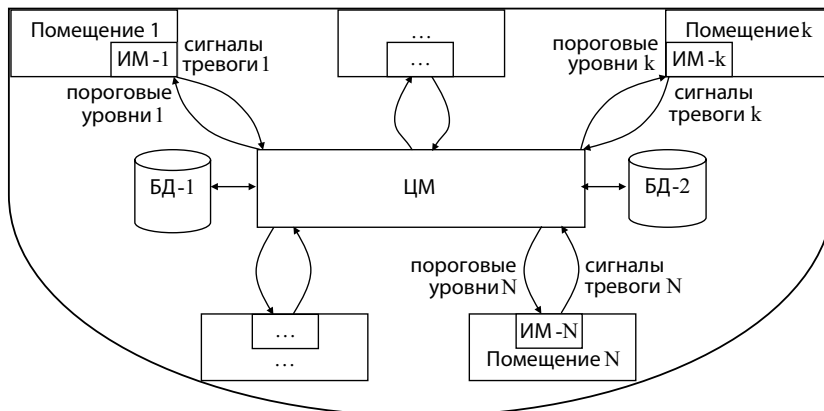


Рис. 1. Структурно-функциональная схема системы регистрации акустического фона

ного назначения судовых помещений: очевидно, что уровень шумов в жилых помещениях, классифицируемый как нежелательный, должен иметь существенно более низкие пороговые значения, чем аналогичный уровень для машинных отделений судна.

Авторами предлагается концепция сетевой организации системы комплексной оценки акустического фона судовых помещений, структурно-функциональная схема которой показана на рис. 1.

В каждом помещении судна, подлежащем оценке уровня акустического фона, располагается измерительный модуль (ИМ), снабженный уникальным числовым идентификатором; все ИМ посредством сетевых интерфейсов имеют возможность обмена информацией с центральным модулем (ЦМ).

Центральный модуль имеет доступ к двум базам данных: БД-1, хранящей сведения о функциональном назначении помещений в формате «Идентификатор модуля – функциональное назначение помещения», и БД-2, хранящей сведения об уровнях порогов шумов в зависимости от назначения помещений в формате «Функциональное назначение помещения – пороговый уровень нежелательного шума – пороговый уровень вредного шума – пороговый уровень опасного шума» (в обе эти базы информация загружается внешней по отношению к рассматриваемой системе средствами при планировании функционального на-

значения помещений и монтаже в них ИМ). При обнаружении обновления информации в БД-1 ЦМ считывает измененную запись, определяет код функционального назначения указанного в ней помещения, из БД-2 считывает значения пороговых уровней шумов для помещения с таким кодом и передает их на ИМ, запись о котором была обновлена. При обнаружении обновления информации в БД-2 ЦМ считывает измененную запись, определяет код функционального назначения указанного в ней помещения, из БД-1 считывает номера всех ИМ, расположенных в помещениях с таким кодом, и передает им обновленные значения пороговых уровней шумов.

Каждый ИМ циклически измеряет текущий уровень акустического фона, выполняет цифровую фильтрацию для устранения аномалий измерений и сравнивает его с принятыми от ЦМ пороговыми значениями. В случае обнаружения превышения пороговых значений ИМ включает соответствующее обнаруженной ситуации местное оповещение и передает информацию на ЦМ.

Такая организация позволяет системе оперативно адаптироваться к изменению функционального назначения судовых помещений, предупреждать находящийся в них личный состав о неблагоприятных акустических воздействиях, а также вести статистически значимые наблюдения за уровнем акустического фона помещений: это позволяет, в частности,

проводить научно обоснованные работы по дополнительной акустической изоляции помещений и/или их перепрофилированию.

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ

Авторами в экспериментальных целях был реализован фрагмент-прототип предложенной выше системы, отражающий ее основные свойства. В качестве ИМ использован разработанный ранее отладочный микроконтроллерный стенд СТК-2 [9], в числе прочих функциональных узлов включающий в свой состав канал ввода акустической информации, микроконтроллер с подсистемой ввода аналоговых сигналов, графический дисплей и ряд интерфейсов обмена данными в распределенных системах (в частности, на основе Ethernet- и CAN-технологий). В качестве ЦМ использован персональный компьютер с установленным средством САПР Shell-51 [10]. Посредством этой инструментальной среды проектирования разработано встраиваемое программное обеспечение для микроконтроллера, обеспечивающее прием пороговых уровней с компьютера-имитатора ЦМ, измерение уровня сигнала, поступающего с акустического канала стенда, сравнение его с пороговыми значениями, формирование при необходимости тревожного сообщения и передачу его на компьютер-имитатор ЦМ (рис. 2).

Следует отметить, что применение ИМ с развитыми функциональными возможностями существенно снижает объемы и интенсивность передач информации по каналам связи, что разгружает вычислительные мощности ЦМ и косвенно способствует повышению интегральных показателей надежности.

Работу прототипа иллюстрирует рис. 3: при настройке мощности внешнего звукового генератора, обеспечивающей превышение уровнем акустического фона установленного порога срабатывания ИМ, на ЦМ фиксируется поступление предупреждающего сообщения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

К возможным перспективам развития предложенной концепции является включение в состав встраиваемого программного обеспечения подсистем интеллектуальной оценки акустического фона (в частности, на основе методов теории нечетких множеств), введение в состав системы ИМ, размещенных на мобильных роботах (что позволит оценивать акустическую обстановку в труднодоступных пространствах, элементах вентиляционных конструкций и т.п.), а также развитие методов диагностики функционального состояния судовых машин и механизмов с учетом их «акустического портрета».

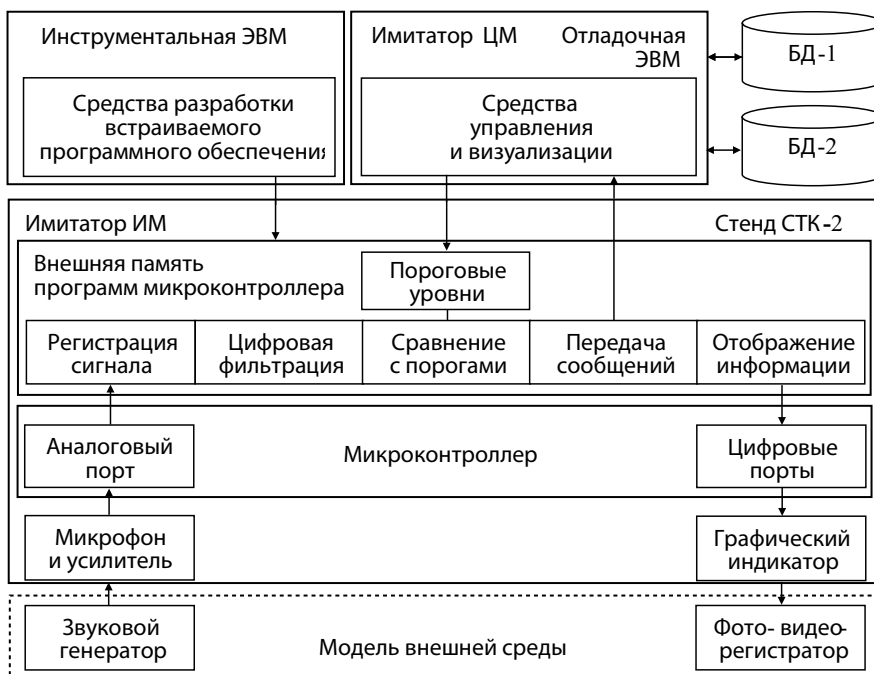


Рис. 2. Структурно-функциональная схема экспериментального прототипа

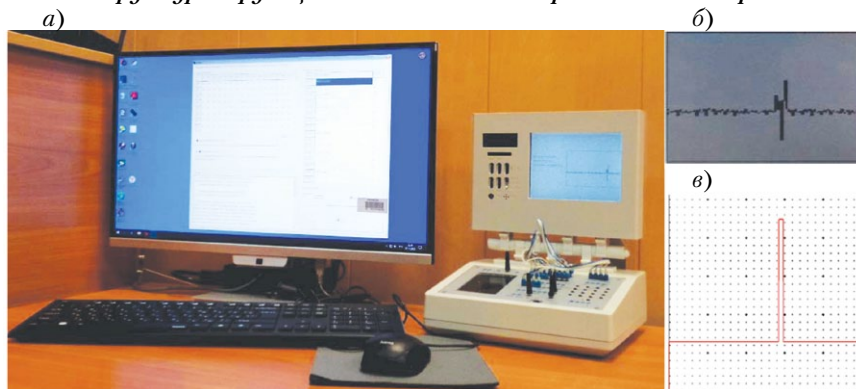


Рис. 3. Иллюстрация работы прототипа системы: общий вид (а), показания графического индикатора ИМ (б), поступление сообщения на ЦМ (в)

Авторы выражают признательность студентке кафедры ТСМ Н.И. Бересовой за участие в экспериментальных исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oldenburg M., Felten C., Hedtmann J., Jensen H.-J. Physical influences on seafarers are different during their voyage episodes of port stay, river passage and sea passage: A maritime field study // PLoS ONE. – 2000. – Vol.15. – Article № e0231309.
2. Фисенко В.М., Зориков П.С., Хасина Э.И. Влияние шума на физическую работоспособность и ее оптимизация адаптогенами // Естественные и технические науки. – 2009. – № 5 (43). – С. 109–113.
3. Riedel N., van Kamp I., Dreger S., Bolte G., Andringa T. et al. Considering 'non-acoustic factors' as social and environmental determinants of health equity and environmental justice. Reflections on research and fields of action towards a vision for environmental noise policies // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, 2021. – Vol. 11. – Article № 100445.
4. Din N.C., Mistar N.A., Sulaiman R., Abdullah Z., Yahya M.N., Haron Z. Conceptual framework on noise ranking classification in eatery

places for human psycho-acoustics preferences towards acoustic comfort // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 849. – Article № 012001.

5. ГОСТ Р 53188.1–2019. Шумомеры. – М.: Стандартинформ, 2019. – 46 с.
6. Агеева Д.А., Епифанцев К.В. Сравнительный анализ современных моделей шумомеров. – Сб. тр. конф. «Метрологическое обеспечение инновационных технологий», СПб., 2020, с. 272–273.
7. Agudelo O.E.A., Marín C.E.M., Crespo R.G. Sound measurement and automatic vehicle classification and counting applied to road traffic noise characterization // Soft Computing. – 2021. – Vol.25. – Iss.18. – P. 12075–12087.
8. Gao B., Woo W.L. Wearable audio monitoring: Content-based processing methodology and implementation // IEEE Transactions on Human-Machine Systems. – 2014. – Vol. 44. – Iss. 2. – P. 222–233.
9. Стенд для изучения микроконтроллерных систем управления. Патент на изобретение №2402822. Патентообладатель А.Е. Васильев. – Оpubл. 27.10.2010, Бюлл. №30.
10. Васильев А.Е. Встраиваемые системы автоматики и вычислительной техники. Микроконтроллеры. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 590 с. ■

В настоящий момент в качестве светопрозрачного материала для таких иллюминаторов используется органическое, неорганическое стекло и кристалл-лейкосапфир. Эти материалы обладают одним общим свойством – низкой прочностью на растяжение и изгибом по сравнению с сопротивлением на сжатие. Это, как отмечалось ранее, обуславливает следующее:

- светопрозрачный элемент в процессе нагружения должен находиться в состоянии трехосного сжатия;
- не должно быть резких переходов между областями сжимающих и растягивающих напряжений около поверхности контакта светопрозрачного элемента и обоймы;
- должны быть благоприятно распределены контактные напряжения и устроены или сведены к минимуму касательные напряжения.

Органическое стекло имеет малый по сравнению с другими материалами модуль упругости. Вместе с тем конструкция не должна способствовать неограниченному росту его перемещений.

Для решения поставленной задачи для всех светопрозрачных материалов можно использовать одну схему соединения с обоймой.

При подходе к проектированию таких изделий следует помнить, что метод соединения, точность расчета конструктивных и технологических параметров, выбор модели для этого, метод решения и точность изготовления каждого элемента и технология сборки определяют рабочее давление и надежность изделия.

Описание предлагаемой конструкции. На предлагаемую конструкцию, показанную на рис.8, получен патент СССР, №1830212 «Иллюминатор высокого давления», заявка №4945788 приоритет изобретения от 20 мая 1991 г. Зарегистрирован в Государственном реес-

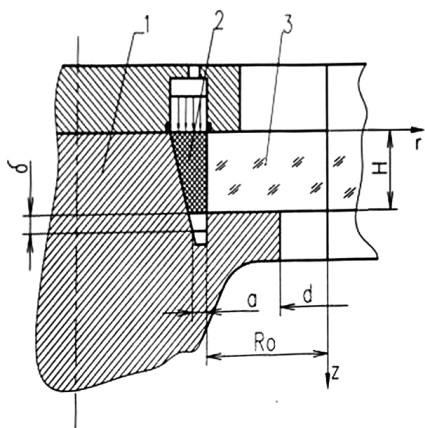


Рис. 8. Схема иллюминатора со стеклоэлементом в форме диска

ИЛЛЮМИНАТОРЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ: УЧЕТ ВЗАИМНОГО СМЕЩЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИИ

ЧАСТЬ 2*

В.П. Лянзберг, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, начальник науч. группы МАИ (Национального исследовательского университета),
Н.М. Вихров, д-р техн. наук, проф.,
ген. директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»,
контакт. тел. + 7 (925) 680 2653

тре изобретений 13.10.1992 г. Авторы и патентообладатели В.И. Шалишин, В.П. Лянзберг и С.Г. Данейгуль. Схема такого иллюминатора показана на рис. 8.

Для создания радиального сжатия и обеспечения герметичности используется шайба 2 из материала, модуль упругости которого приблизительно на порядок меньше, чем у стекла 3. Внешняя поверхность шайбы и сопряженная с ней поверхность корпуса 1 выполнены конической. Ее внутренняя поверхность, как и поверхность стеклоэлемента, цилиндрическая. При воздействии гидростатического давления и реакции со стороны корпуса и стеклоэлемента материал шайбы сжимается, и она проскальзывает на величину δ в коническую полость, образованную между стеклоэлементом и корпусом. В результате этого на боковую поверхность стеклоэлемента действуют сжимающие усилия, превышающие приложенное гидростатическое давление и увеличивающиеся от поверхности приложения гидростатического давления к контактной поверхности. Значение этих сжимающих усилий при фиксированном значении гидростатического давления зависит от геометрических параметров α , b , механических свойств материала обжимной шайбы, величины зазора (натяга) Δ между стеклоэлементом и шайбой.

Ранее были исследованы конические иллюминаторы из органического стекла [6, 7], поведение которых при приложении гидростатического давления аналогично поведению шайбы, применяемой в предлагаемой конструкции. Из анализа этих исследований можно сделать вывод, что зависимость осевого смещения шайбы от величины приложенного гидростатического давления w P , показанная на рис. 4, имеет вид петли гистерезисного типа.

При сбросе гидростатического давления силы упругости, стремящиеся вернуть шайбу 3 в исходное положение, меньше сил трения, возникающих между боковой поверхностью шайбы 3 и стеклоэлементом 1 с одной стороны и обоймой с другой. В результате этого осевое

смещение шайбы 3 при заданном значении внешнего гидростатического давления P при его сбросе меньше, чем при подъеме, что обеспечивает сжимающие напряжения в контактной зоне, ограниченную подвижность и герметичность соединения.

Поэтому радиальные сжимающие усилия и, следовательно, герметичность соединения обеспечиваются как при увеличении, так и при уменьшении давления. Величина радиального обжатия определяется величиной осевого смещения шайбы δ .

Можно отметить следующие качественные зависимости. С увеличением угла конусности при фиксированном значении высоты и большем диаметре шайбы и зазоре (натяге) Δ радиальные сжимающие усилия в среднем уменьшаются. При фиксированных геометрических параметрах обжимной шайбы с уменьшением коэффициента трения между шайбой и обоймой с одной стороны и стеклоэлементом с другой сжимающие напряжения увеличиваются.

После сброса давления при нулевом значении рабочего давления характер смещения обжимной шайбы с течением времени имеет вид, показанный на рис. 9. Чтобы герметизация соединения не была нарушена, необходимо плотное прилегание этих элементов. Это обеспечивается подбором угла конусности и

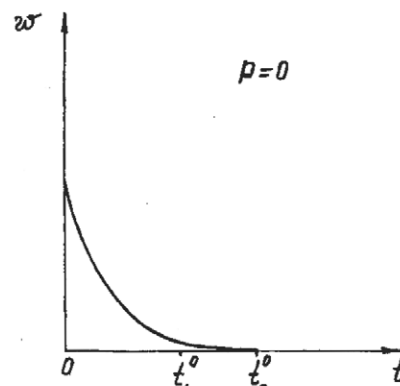


Рис. 9. График зависимости при нулевом давлении

* Окончание. Начало см. «Морской вестник», 2022, №3 (83)

размерами обжимной шайбы. Чем больше угол конусности и толщина шайбы, тем меньше ее осевое смещение.

Основной задачей при проектировании и изготовлении рассматриваемых иллюминаторов является определение и обеспечение конструктивных и технологических параметров, обеспечивающих не только осесимметричное распределение сжимающих напряжений в ограниченной контактной зоне стеклоэлемента на различных этапах воздействия гидростатического давления, но и герметичность соединения.

Чтобы сгладить контактные напряжения между стеклоэлементом и обжимной, опорное основание обжимы делают податливым. В общем случае это достигается с помощью кольцевой канавки корпуса (рис. 10), выполненной на определенной высоте от края основания и имеющей определенную глубину. Сама контактная поверхность в общем случае выполняется определенной кривизны, так что между стеклоэлементом и опорным основанием в ненагруженном состоянии имеется зазор. Величина l_{on} может быть равна диаметру стеклоэлемента. Вариант выполнения опорного основания определяется в основном заданным значением светового диаметра к диаметру стеклоэлемента. Если указанное отношение находится в пределах 0,4–0,6, то возможно два варианта выполнения основания.

По мере увеличения давления опорное основание обжимы прогибается, зазор постепенно ликвидируется и поверхность контакта вследствие этого увеличивается. Это способствует более равномерному распределению контакт-

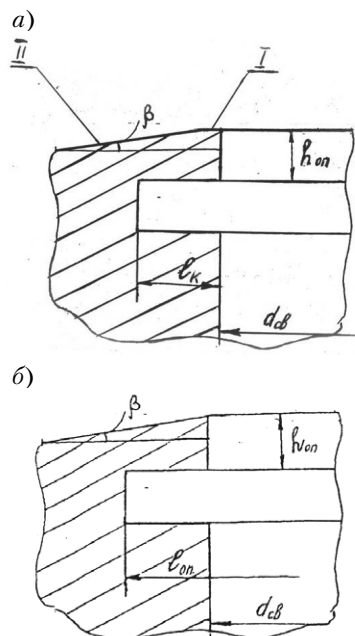


Рис. 10. Простейшие формы опорного основания для органического (а) и неорганического (б) стекла I – плоская форма опорного основания для стекла; II – коническая форма

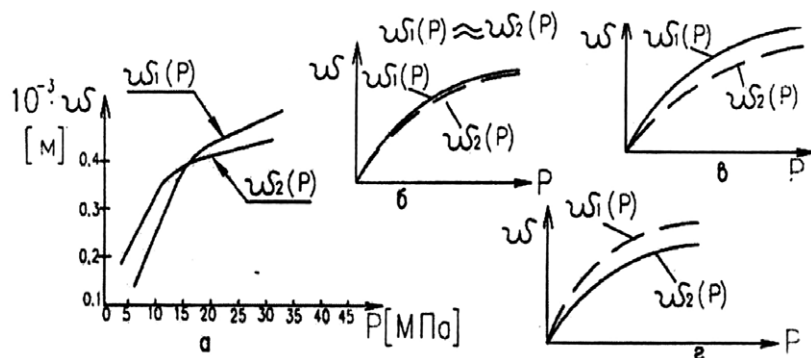


Рис. 11. Возможные равновероятные виды зависимости осевого смещения от давления в точках 1[$w_1(P)$] и 2[$w_2(P)$] стеклоэлемента из неорганического стекла

ных напряжений. В зависимости от податливости основания его контакт со стеклоэлементом при максимальном рабочем давлении может происходить как по всей опорной поверхности стеклоэлемента, так и по кольцевой поверхности с максимальным диаметром контакта, меньшим диаметра стетклоэлемента. Такой вариант нагружения выбирает, как правило, для иллюминаторов, имеющих разную толщину стеклоэлемента d_1 .

Из проведенных рассуждений следует, что основными параметрами, определяющими несущую способность выполненного по предлагаемой схеме дискового иллюминатора, являются угол конусности α_2 обжимной шайбы, ее минимальная толщина b ; зазор (натяг) Δ между боковой поверхностью стеклоэлемента и обжимной шайбой; толщина опорного основания обжимы h_1 ; угол конусности β опорного основания обжимы; отношение светового диаметра $d_{св}$ к диаметру стеклоэлемента d_1 ; минимальная толщина боковой поверхности обжимы иллюминатора, осевое смещение шайбы δ .

Угол конусности α зависит от габаритов иллюминатора и вида зависимости Pw , показанной на рис. 4. Остальные указанные параметры, как показали исследования, являются взаимозависимыми и определяются на основе теоретико-экспериментальных исследований.

Проведенные измерения осевого смещения w стеклоэлемента в точках 1 (соответствующей центру стеклоэлемента), 2 (соответствующей световому диаметру) в зависимости от давления P показали, что вид $w_1 P$, $w_2 P$ зависит от податливости основания. Для жесткого основания они близки к линейным.

При оптимальном подборе вышеперечисленных параметров осевые смещения в точках 1 и 2 близки и равновероятно могут иметь вид, показанный на рис. 11.

Можно выделить два характерных участка. Первый близкий к прямолинейному с большим углом наклона. При достижении определенного значения давления он переходит в другой, близкий к прямолинейному, с меньшим уг-

лом наклона. По-видимому, это можно объяснить так: на начальном этапе нагружения прогибы основания малы и площадь опоры остается близкой к первоначальной. По мере роста давления увеличивается прогиб и резко увеличивается площадь контакта, что соответствует второму характерному участку зависимости.

Для аналогичных образцов из органического стекла при оптимальной податливости опорного основания указанные зависимости показаны на рис. 12.

Полученные результаты показали правильность выбора пути повышения несущей способности. Удалось увеличить разрушающее давление в среднем в 2–2,5 раза по сравнению с давлением в соединении, выполненным известными методами. Для данных стеклоэлементов оно находилось в интервале 45–60 МПа.

В проведенной серии экспериментов, результаты которой приводятся да-

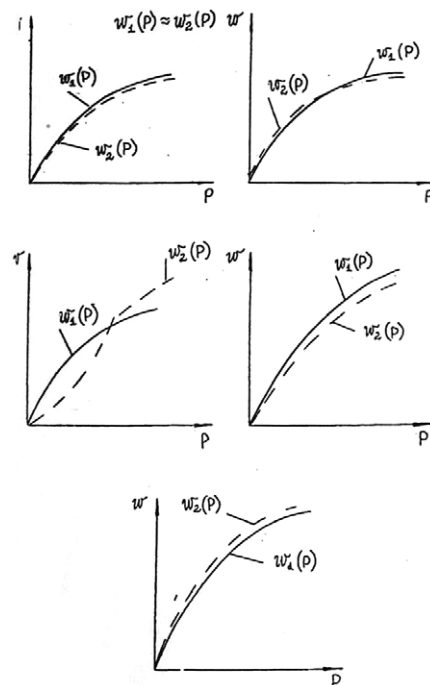


Рис. 12. Возможные равновероятные виды зависимости осевого смещения от давления в точках 1[$w_1(P)$] и 2[$w_2(P)$] стеклоэлемента из органического стекла

лее, показано значение точности определения податливости обоймы и светового диаметра на примере иллюминаторов со светопрозрачным элементом в форме диска.

При оптимальной податливости обоймы и всех перечисленных выше конструктивных и технологических параметрах для иллюминаторов с применением органического стекла СО 120 разрушение аналогично образцу из силикатного стекла [5]. Величина P_1 составила 50 МПа. Данный результат удалось получить только при соотношения λ между световым диаметром $D_{св}$ и диаметром стеклоэлемента D : $\lambda = D_{св}/D = 0,5$. Для конструкции со стеклоэлементом из неорганического стекла при $\lambda = 0,5$ давление нарушения целостности с аналогичным характером разрушения $P_1 = 60$ МПа. При этом толщина опорного основания обоймы существенно отличалась от иллюминатора со стеклоэлементом из СО 120. В обоих образцах характер деформирования паранитовой прокладки указывал на полное прилегание контактной поверхности сопрягаемых элементов.

Отметим небольшую разницу в величине P_1 и характере разрушения светопрозрачного элемента из силикатного и органического стекла при создании необходимого вида его напряженного состояния конструктивными мерами.

Определение параметров обжимной шайбы. Рассмотрим подробно влияние конструктивных и технологических параметров обжимной шайбы на величину ее осевого смещения и характер передаваемых усилий на боковую поверхность стеклоэлемента.

Решение задачи для обжимной шайбы получено из уравнений равновесия трехмерной осесимметричной задачи теории упругости при следующих допущениях:

– распределение напряжений

$$\sigma_z = -q \times (1 - \frac{z}{H});$$

– так как шайба проскальзывает в коническую полость между стеклоэлементом и обоймой, то на контактной цилиндрической поверхности шайбы со стеклоэлементом $\tau_{rz} = 0$;

– радиальное перемещение обжимной шайбы u_r можно определить из уравнения

$$r^2 \frac{\partial^2 u_r}{\partial r^2} + r \times \frac{\partial u_r}{\partial r} - u_r = 0.$$

Уравнение Эйлера имеет вид [2]

$$x^2 \times \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + x \times \frac{\partial y}{\partial x} + ay = 0,$$

где $a = -v^2 \angle 0$.

Отсюда $u_r = C_1(z) \times r + C_2(z) \times \frac{1}{r}$.

Граничные условия имеют вид

$$u_r(R_0) = \Delta,$$

$$u_r(R_0 + a + (H - z) \times \operatorname{tg}(\alpha/2)) = -\delta \times \operatorname{tg}(\alpha/2).$$

Подставим приведенное выше решение для u_r в граничные условия и решим полученную систему уравнений относительно $C_1(z), C_2(z)$.

Получим решение, связывающее геометрические и технологические параметры:

$$C_1(z) = \frac{\Delta}{R_0} - \frac{r(z) \times [\delta \times \operatorname{tg}(\alpha/2) + \Delta \times \frac{r(z)}{R_0}]}{r^2(z) - R_0^2};$$

$$C_2(z) = \frac{R_0^2 \times r(z) \times (\delta \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + \Delta \times \frac{r(z)}{R_0})}{r^2(z) - R_0^2}.$$

На основании полученных значений определяются соотношения для перемещений, деформаций и напряжений. В результате осевого проскальзывания обжимной шайбой на величину δ накопленная потенциальная энергия

$$U = 0,5 \times \int_V (\varepsilon_r \times \sigma_r + \varepsilon_\theta \times \sigma_\theta + \varepsilon_z \times \sigma_z) dV$$

и равна работе, совершаемой под воздействием гидростатического давления q :

$$A = 0,5 \times F \times \delta = 0,5 \times \delta \times q \times \pi \times$$

$$\times \{(R_0 + a + H \times \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2})^2 - R_0^2\}.$$

В результате преобразования уравнения $A = U$ получим итоговое соотношение, связывающее геометрические, технологические параметры и приложенное гидростатическое давление:

$$A \times \Delta^2 + B \times \Delta \times \delta + C \times \delta^2 = D \times \delta.$$

Величины A, B, C, D являются функциями указанных выше параметров. Задавая одну из величин δ или Δ , получаем квадратное уравнение относительно другой. Проведен анализ решения данного уравнения. Результаты можно разделить на две группы:

- при положительном значении Δ (натяге);
- при наличии малого первоначального зазора между цилиндрической поверхностью стеклоэлемента и обжимной шайбы.

В первом случае решение этого уравнения при любом значении q – действительные числа. Физический смысл имеет одно из значений δ . Зависимость $\delta(q)$ близка к линейной при любом сочетании геометрических и технологических параметров.

Во втором случае решение может иметь комплексное значение при определенных сочетаниях величин первоначального зазора Δ , геометрических параметров и гидростатического давления q . Чем больше по абсолютной величине Δ , тем выше значение q_1 , ниже которого решение этого уравнения имеет комплексный корень. При величине гидростатического давления больше q_1 решением данного уравнения являются действительные числа. Физический смысл имеет также одно из значений δ . По-видимому, такой характер решения соответствует неполному прилеганию

боковой цилиндрической поверхности обжимной шайбы и стеклоэлемента.

Используемый алгоритм вычисления коэффициентов A, B, C, D позволяет определить влияние малых отклонений параметров на передаваемые через боковую поверхность шайбы на стеклоэлемент радиальных усилий и величину ее осевого смещения δ . Передаваемые сжимающие усилия увеличиваются по мере приближения к опорной контактной поверхности и по величине больше приложенного гидростатического давления q . Отношение β максимального сжимающего напряжения, действующего на боковую поверхность ($z = H$) и вблизи поверхности приложенного гидростатического давления ($z = 0$), и значение δ обжимной шайбы в первом приближении могут быть величинами, оценивающими точность выбора параметров: Δ , минимальной толщины обжимной шайбы a , ее модуля упругости E и угла конусности α . Чем больше β и меньше при этом δ , тем лучше подобраны значения параметров.

Проведены вычисления этих величин при изменении одного из указанных параметров в пределах возможных отклонений для конкретных конструкций и сочетаний возможных комбинаций одновременного их изменения. Отметим следующие основные выводы. Зависимость $\delta(q)$ является линейной функцией, а $\beta(q)$ нелинейной при любой возможной комбинации a, E, Δ, α . При первоначальном зазоре зависимость $\beta(q)$ изменяется в более широком диапазоне значений, чем в случае натяга. Наиболее эффективным методом уменьшения осевого перемещения δ при сохранении прочих конструктивных параметров является увеличение модуля упругости E . Например, замена материала обжимной шайбы, выполненной из полиэтилена на органическое стекло. Для данного материала одновременно уменьшить δ и увеличить значение β возможно или уменьшением минимальной толщины a или увеличением угла конусности α . Наиболее эффективным является одновременное изменение этих параметров. Следует отметить, что при любой комбинации выбранных параметров прежде всего необходимо обеспечить осесимметричную передачу нагрузки на боковую поверхность стеклоэлемента. Чем больше отклонение от осесимметричной формы, тем ниже надежность и разрушающее давление. Особенно это важно при использовании светопрозрачного элемента из неорганического стекла. Данное условие гарантируется точностью изготовления сопрягаемых элементов и технологией сборки иллюминатора.

Зависимость $\delta(P)$ осевого смещения δ от давления P линейная. Такой характер зависимости отмечен при экспери-

ментальном исследовании конических акриловых иллюминаторов [16] в интервале рабочих давлений при любом угле конусности. Сравнение полученных результатов с экспериментальными исследованиями и реализованными в конкретных конструкциях показало, что они близки в первоначальный момент достижения рабочего давления. В дальнейшем величина осевого смещения δ и время восстановления первоначальной формы при прочих равных условиях существенно будут зависеть от параметров цикла нагружения [17]. Ранее было отмечено, что значительное увеличение рабочего давления и надежности можно реализовать только при точном определении податливости обоймы и соотношения между диаметром стеклоэлемента D_1 и световым диаметром иллюминатора $d_{св}$.

Иллюминаторы со светопрозрачным элементом в форме оболочки могут быть выполнены с использованием всех перечисленных ранее светопрозрачных материалов. Наиболее часто изготавливаются в форме полусферы, колпака, цилиндрической оболочки. Самые безопасные и дешевые – из органического стекла.

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ СО СТЕКЛОЭЛЕМЕНТОМ В ФОРМЕ ОБОЛОЧКИ ИЗ НЕОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Полученные результаты дают основания предположить, что увеличить несущую способность стеклоэлемента и ресурс может конструкция, в которой его торец может лишь возможность ограниченно проскальзывать по поверхности обоймы в радиальном направлении, напряженное состояние вблизи торца близко к всестороннему сжатию, а стеклоэлемента в целом – к безмоментному. Такие условия работы для всех видов материалов светопрозрачного элемента может обеспечить предлагаемая конструкция иллюминаторов (рис. 13).

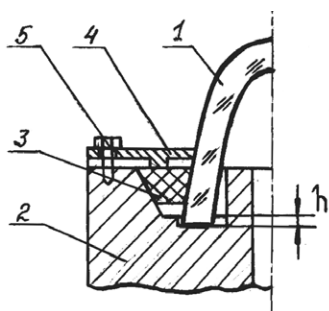


Рис. 13. Схема соединения стеклоколпака

Стеклоэлемент 1 установлен в обойме 2 в кольцевой канавке с конической наружной боковой поверхностью, причем он центрируется и герметизируется в интервале рабочих давлений шайбой 3, имеющей в сечении форму трапеции, выполненной из материала с модулем

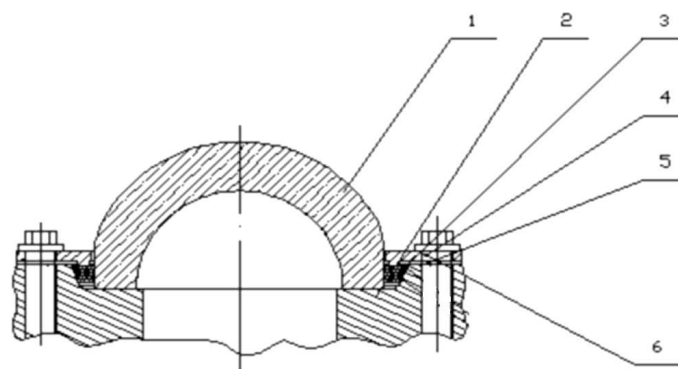


Рис. 14. Схема соединения полусферического стеклоэлемента большой пластины 1 – полусферический стеклоэлемент; 2 – обойма иллюминатора; 3 – обжимная шайба; 4 – поджимная крышка; 5 – винт; 6 – уплотнительные кольца

упругости на порядок меньше модуля упругости материала стеклоэлемента. Герметизация при малых давлениях обеспечивается либо уплотнительными кольцами, поджимаемыми к шайбе 3 крышкой 4 и винтами 5, либо нанесением слоя упругого уплотнителя между боковыми поверхностями шайбы и канавкой корпуса с одной стороны и боковой поверхностью стеклоколпака с другой.

В иллюминаторах высокого давления с большой толщиной стеклоэлементов контакт внутренней боковой поверхности обжимной шайбы и внешней поверхности оболочки в основном происходит по цилиндрической поверхности (рис. 14). В таких конструкциях для оценки параметров обжимной шайбы можно применять приведенную ранее методику для обжимных шайб дисковых иллюминаторов. Методика также верна для конструкций со стеклоэлементом в форме цилиндрической оболочки [17]. Иллюминаторы со светопрозрачным элементом в форме оболочки можно условно разделить на две группы. К первой можно отнести изделия с малой радиальной деформацией стеклоэлемента, не превышающей первоначальный натяг Δ . В этом случае контакт боковой поверхности обжимной шайбы и стеклоэлемента осуществляется на всех этапах работы изделия. Для оценки возможного осевого смещения шайбы δ в первом приближении можно применить предложенную ранее методику. В уравнении, связывающем натяг Δ и осевое смещение шайбы δ , следует учитывать ослабление натяга в результате деформации оболочки

$$\Delta = \Delta_1 - u_r$$

где Δ_1 – первоначальный натяг, u_r – радиальное смещение внешней поверхности оболочки.

К таким конструкциям следует отнести иллюминаторы со светопрозрачным элементом из неорганического стекла и лейкосапфира.

Ко второй группе следует отнести конструкции с возможным образованием зазора между внутренней цилиндри-

ческой поверхностью обжимной шайбы и наружной поверхностью оболочки в процессе гидростатического нагружения, что может привести к нарушению герметичности. Такие ситуации возникают с иллюминаторами со светопрозрачным элементом из низкомодульного материала (например, органического стекла) в результате неточного подбора геометрических и механических параметров обжимной шайбы и нестабильности коэффициента трения между торцевой контактной поверхностью стеклоэлемента и обоймой. Поэтому в процессе проектирования необходимо оценить максимально возможное значение зазора Δ , величину гидростатического давления q , параметры шайбы α , a , H – соответственно угол конусности, минимальная толщина и высота обжимной шайбы, при которых происходит ее контакт с оболочкой при определенной величине ее осевого смещения δ и параметра β . Чем меньше q и больше Δ , тем точнее определена необходимая комбинация геометрических параметров обжимной шайбы.

Такой способ соединения применялся в конструкциях с использованием неорганического и органического стекла в качестве материала светопрозрачного элемента, у которых контакт внутренней боковой поверхности обжимной шайбы и внешней поверхности оболочки происходит по цилиндрической поверхности (см. рис. 14).

Иллюминаторы со светопрозрачным элементом в форме оболочки можно условно разделить на две группы. К первой можно отнести изделия с малой радиальной деформацией стеклоэлемента, не превышающей первоначальный натяг Δ . В этом случае контакт боковой поверхности обжимной шайбы и стеклоэлемента осуществляется на всех этапах работы изделия. Для оценки возможного осевого смещения шайбы δ в первом приближении можно применить предложенную в [6] методику их определения.

Как и в [6, 7], величина β – отношение максимального сжимающего напряжения, действующего на боковую по-

верхность ($z = H$) и вблизи поверхности приложенного гидростатического давления ($z = 0$). Чем меньше q и больше Δ , тем точнее определена необходимая комбинация геометрических параметров обжимной шайбы. Для рассматриваемых конструкций необходимая величина β определяется также качеством материала стеклоэлемента и контактной поверхности и изменяется в процессе нагружения.

Ранее было отмечено, что если значение давления выше некоторой критической величины, то соответствующее ей осевое смещение шайбы этот зазор ликвидирует, а решение квадратного уравнения, связывающего Δ и α , имеет действительные корни. В противном случае решением являются комплексные числа. Этим свойством можно воспользоваться для оценки в первом приближении точности выбора комбинации геометрических и механических параметров обжимной шайбы иллюминатора со светопрозрачным элементом в форме оболочки.

Отметим некоторые особенности подбора параметров обжимной шайбы для данных конструкций. Поскольку

высота обжимной шайбы ограничена, значение угла конусности может изменяться в значительных пределах ($10-150^\circ$) в зависимости от рабочего давления P . Минимальная толщина обжимной шайбы и ее высота также оказывают значительное влияние на несущую способность оболочки.

В иллюминаторах с рабочим давлением, близким к 60 МПа, в основном применяют органическое стекло. Максимальные окружные напряжения, возникающие на внутренней поверхности стеклоэлемента, в случае использования органического стекла выше предела пропорциональности на диаграмме напряжение-деформация даже при толщине, соизмеримой с его внутренним радиусом. Это приводит к значительным перемещениям и ползучести материала стеклоэлемента при длительном воздействии гидростатического давления. Поэтому задача более равномерного распределения напряжения по толщине актуальна.

Отсюда следует, что если геометрические параметры подобрать таким образом, что на обойму иллюминатора будет действовать момент, стремящейся

повернуть его вовнутрь, то можно способствовать разгрузке вблизи внутреннего радиуса стеклоэлемента.

Внутренний диаметр обоймы должен быть таким, чтобы при максимальной длительности воздействия рабочего давления не допустить выхода этого диаметра стеклоэлемента за пределы контактной поверхности корпуса. Точное значение этой величины можно определить только в процессе эксперимента, так как в расчете нельзя учесть коэффициент трения. Как показывают ранее проведенные исследования, уменьшение радиуса при таком уровне напряжения еще в течение шести–восьми часов может увеличиться на первоначальное значение при достижении рабочего давления. Методика оценки данных параметров приведена в [7].

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили, что точное определение геометрических параметров обоймы и вспомогательного конического элемента совместно позволяют достичь необходимого напряженного состояния стеклоэлемента и существенно увеличить рабочее давление и надежность иллюминаторов. ■

Сделаем два предварительных замечания, важных для понимания сути представленной статьи.

Первое замечание: под термином декомпозиция следует понимать в общей постановке разделение на части. Впервые он был введен в научный оборот французским философом математиком, механиком, физиком и физиологом Рене Декартом (1596–1650) в работе «Рассуждение о методе...» [1], ознаменовавшей переход к современному научному познанию. Сегодня этот термин достаточно широко используется, например, в механике [2], логистике [3], экономике [4]. В данной статье декомпозиция понимается как физическое выделение отдельных частей сложных военно-морских систем с целью создания на их основе других систем, а также восстановления утраченных свойств других систем или придания им расширенных возможностей, подобно тому, как это делается для авиационных комплексов [5] и сложных радиоэлектронных приборов [6]. В частности, здесь рассмотрен поучительный исторический опыт заимствования корабельных артиллерийских систем для обеспечения береговой обороны военно-морских баз, а также повышения огневых возможностей действующего корабля за счет недостроенного.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СИНТЕЗА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЛОЖНЫХ ВОЕННО-МОРСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

М.Н. Григорьев, канд. техн. наук, проф. БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова,
А.В. Лосик, д-р истор. наук, проф., старший науч. сотрудник
Военного (научно-исследовательского) института ВКА им. А.Ф. Можайского,
С.А. Уваров, д-р экон. наук, проф. СПбГЭУ,
А.И. Фрумен, канд. техн. наук, проф., доцент СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (911) 993 1448, +7 (965) 099 8091, +7 (911) 260 5017,
+7 (911) 210 7439

Второе замечание касается того, что подразумевается под логистическим подходом к анализу любых явлений или процессов как в настоящем, так и в исторической ретроспективе. Такой подход дает возможность учитывать всю совокупность материальных, финансовых, законодательных, человеческих и других ресурсов [7] с целью их эффективного использования для решения перспективных вопросов планирования, организации и управления [8].

Опираясь на изложенное выше, проанализируем два примера из богатой истории военно-морского флота России XX в.

СОБЫТИЯ РУССКО-ЯПОНСКОЙ ВОЙНЫ

Начало этого века в истории нашей страны ознаменовалось, как известно, русско-японской войной. Одним из знаменательных ее событий была оборона Порт-Артура, крепости и военно-морской базы (ВМБ) Российской империи на побережье Желтого моря, соединенной с основной территорией страны железной дорогой, проходящей по территории Маньчжурии.

Япония в первую ночь войны повредила три корабля из состава эскадры, базировавшейся в Порт-Артуре. На сле-

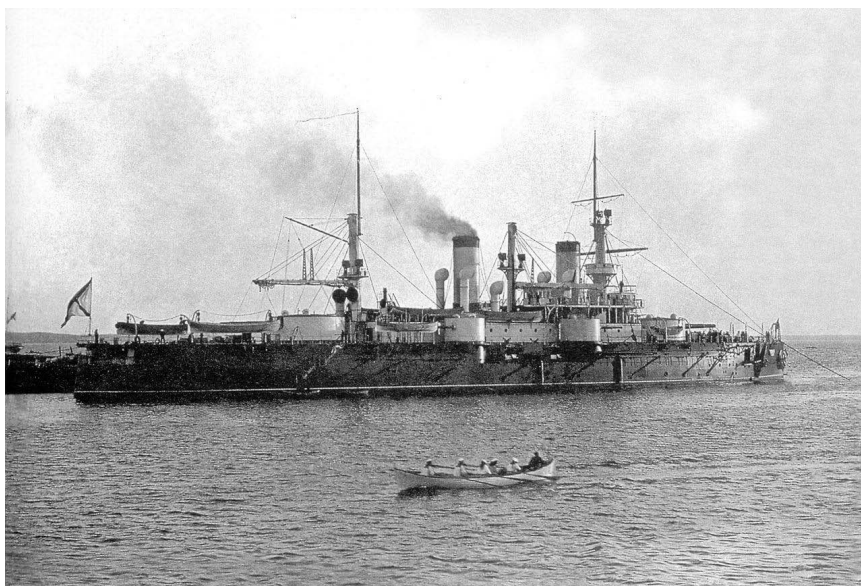


Рис. 1. Эскадренный броненосец «Севастополь» в Кронштадте, сентябрь 1900 г. На переднем плане – командирский вельбот

дующий день погибли легендарные корабли «Варяг» и «Кореец». Флот был ослаблен, японские войска практически беспрепятственно высадились на континенте и блокировали Порт-Артур, началась его осада [9].

И здесь нельзя не вспомнить первую оборону Севастополя 1854–1855 гг. Там так же, как в случае с Порт-Артуром, надежная сухопутная оборона ВМБ практически не была заранее создана. Наш парусный флот был сначала скован паровыми кораблями противника в базе, а затем российские экипажи затопили свои корабли для предотвращения входа врага в Севастопольскую бухту, а их артиллерия была обращена на создание береговой обороны. Попыток ее вернуть на корабли не предпринимали ввиду их отсутствия в строю.

Через 50 лет подобная ситуация сложилась в Порт-Артуре. Там после гибели вице-адмирала С. О. Макарова очень скоро флот потерял свою активность и стал использоваться командованием крепости как источник ресурсов для создания и совершенствования сухопутной обороны. С кораблей снимали артиллерию, прежде всего орудия малого и среднего калибра, и людей для ее обслуживания. Данное решение с логистических позиций вполне целесообразно. В качестве примера рассмотрим данные эскадренного броненосца «Севастополь» (рис. 1). Артиллерийское вооружение: 4 орудия 305-мм в двух башнях (по 58 выстрелов на ствол), 12 152-мм пушек Канэ, из них 4 спаренные башенные установки и 4 орудия в батарее (по 200 выстрелов на ствол), пушки Гочкиса: 12 ед. 47-мм и 28 ед. 37-мм находились на палубах и надстройках [10]. Последние общим числом 40 стволов могли быть сравни-

тельно просто демонтированы и перемещены на сухопутные укрепления.

Надо отметить, что «Севастополь» был кораблем несчастливым, отличался низким качеством машин, постоянно попадал в навигационные аварии, в боевых столкновениях получал попадания крупных снарядов. Броненосец дважды подрывался на минах. Несмотря на это, его новый командир Н. О. фон Эссен обеспечивал очень высокую боевую активность корабля, при нем ремонты осуществлялись в рекордные сроки.

Осадные действия японцев привели к тому, что оборонительный потенциал Порт-Артура стал иссякать. Бездарный руководитель обороны крепости генерал-лейтенант А. М. Стессель стал склоняться к капитуляции. Часть морских офицеров, а их лидером стал будущий командующий Балтийским флотом Н. О. фон Эссен, решила на боеспособных кораблях покинуть крепость.

Эссен начал готовить свой корабль к прорыву из осажденного японцами Порт-Артура. Для этого он организовал возвращение с сухопутного фронта части артиллерии и личного состава, договорился с командирами кораблей, не готовых пойти на прорыв, о выделении ему части недостающих ресурсов, вывел «Севастополь» из внутренней гавани, где он подвергался обстрелу, в одну из внешних бухт Порт-Артура – бухту Белый Волк, под защиту береговых батарей. Японские миноносцы обнаружили этот маневр и после многократных безуспешных атак, а всего за несколько суток они использовали около 80 торпед, в последнюю ночь перед началом прорыва торпедировали «Севастополь», была повреждена корма. Броненосец остался на плаву, но утратил способность само-

стоятельно двигаться, и поэтому через несколько дней накануне капитуляции Порт-Артура был затоплен командой на глубине 50 м. Это единственный корабль русской эскадры, базировавшейся в Порт-Артуре, который не был поднят и использован в дальнейшем японцами.

Несмотря на мужество и запредельные усилия самого Н. О. фон Эссена и его команды, план прорыва крупного корабля из капитулирующего Порт-Артура не удался. Среди причин, тому способствующих, были и чисто логистические.

Действия по разукрупнению кораблей эскадры носили стихийный характер, которые происходили по воле начальства, желающего решить сиюминутные проблемы, никто на плановой основе не рассматривал возможные пути оперативного восстановления боеспособности хотя бы части этих кораблей.

Моряки понесли на сухопутном фронте обороны Порт-Артура потери, частично утратили навыки несения боевой службы на корабле. Очевидные логистические решения, такие как ротация кадров между кораблем и сухопутным фронтом для восстановления квалификации моряков, «заем» личного состава с других кораблей для восстановления полной боеспособности одного, предназначенного для выполнения в заданный момент наиболее ответственного задания, в концептуальном плане тогда не рассматривались и, естественно, в процессе подготовки кораблей и флота в целом не отрабатывались. Да и уроки Русско-Японской войны впоследствии изучались, думается, вне логистического подхода к синтезу и восстановлению сложных систем с использованием возможностей декомпозиции.

СОБЫТИЯ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

Прошло чуть более 35 лет. Началась Великая Отечественная война. Блестящий пример циклического заимствования технического ресурса с помощью декомпозиции под конкретную задачу продемонстрировал осенью 1941 г. командир лидера эсминцев «Ташкент» капитан 3 ранга (впоследствии контр-адмирал) В. Н. Ерошенко.

Приобретенный в Италии лидер «Ташкент» имел выдающиеся ходовые качества, но очень слабую зенитную артиллерию. Последнее не замедлило сказаться. На переходе в Одессу корабль атаковали германские пикирующие бомбардировщики, и лидер получил значительные повреждения. Общая площадь пробойны в обшивке правого борта достигла 35 м², сама пробойна простиралась от верхней палубы до самого киля. Глубина вмяти-

ны достигла 2 м, а весь бортовой набор с обоих бортов был поврежден и деформирован. Корма «Ташкента» провисла на 558 мм [11].

По нормам мирного времени на устранение таких повреждений требовалось не менее пяти месяцев. Работники Севастопольского морского завода (Севморзавод), куда пришел «Ташкент», экипаж корабля и техническая служба флота, применив инновационные подходы, справились за 35 дней. Несмотря на запредельную напряженность выполнения работ, В. Н. Ерошенко, проанализировав ближайшие перспективы встреч с германской авиацией, нашел эффективнейший способ усилить ПВО своего корабля.

Случайно рядом с Севморзаводом оказался недостроенный эсминец «Огнево», буксируемый из Николаева в Батуми на достройку. На нем была уже смонтирована спаренная 76-мм зенитная артиллерия 39-К весом 12,5 т. Минуту положенные согласования, успех которых за располагаемое время был маловероятен, командиру удалось договориться с ответственным строителем «Огнево», выполнявшим функции материально ответственного лица, что он «на время» даст попользоваться ею «Ташкенту». О сопутствующих договоренности обстоятельствах есть разные мнения, анализ которых выходит за рамки данной статьи.

В план ремонта лидера были внесены дополнительные объемы работ, не соответствующие проекту корабля, в табель арснабжения – не соответствующие паспорту «Ташкента» боеприпасы, а также откорректировали в сторону увеличения численность экипажа. Как результат, в строй действующего флота вступил корабль, способный поражать воздушные цели на дальности до 13 км. Достижимость по высоте – 9,8 км, скорострельность – 20 выстрелов на ствол в минуту. Тогда это было уникально для наших эсминцев, находившихся в строю Черноморского флота. Почти девять месяцев потом германские самолеты оказывались под интенсивным зенитным огнем на дальностях, не соответствующих справочным о «Ташкенте». Германские пилоты все видели своими глазами, но верили справочнику.

Относительно действующих на момент совершения такой модернизации правовых и нормативных актов это было вопиющее нарушение. Время было суровое, хотя штрафных батальонов еще не создали, приказы по флоту пестрели расстрелами. Воздадим должное тем, кто, рискуя своей головой, нашел и воплотил в жизнь изящное технико-логистическое решение, которое позволяло лидеру, практически единственному среди крупных надводных кораблей, совер-

шать регулярные рейсы в осажденный Севастополь. Тысячи эвакуируемых и раненых, которые после выгрузки доставленных в Севастополь запасов, заполняли верхнюю палубу и внутренние помещения корабля с плотностью размещения, характерной сегодня заполнению метро в часы пик, обязаны жизнью этому решению (рис. 2).

Корабль прошел 27 тыс. миль, отконвоировал без потерь 17 транспортов. На самом лидере перевезено 19,3 тыс. человек и 2538 т грузов, им потоплен торпедный катер, сбито и повреждено 13 самолетов.

В значительной мере успех «Ташкенту» обеспечила сверхштатная зенитная башня (рис. 3) в корме корабля. Вокруг второй трубы лидера расположена штатная зенитная батарея. Кормовая мачта и мостик ограничивают обстрел батареи на корму. Расположение зенитных орудий над верхней палубой увеличивает влияние боковых кренений на точность стрельбы. Место для размещения зенитной башни выбрано идеально для борьбы с пикирующими бомбардировщиками, которые, как правило, заходили в атаку на скоростную цель с кормы.

Корабль после своего заключительного легендарного похода в Севастополь оказался в Новороссийске, где и погиб 2 июля 1942 г. у Элеваторной стенки во время налета германской авиации. По данным источников, доступных авторам, произошло это так.

В 11 часов утра того дня оператор радиолокатора РУС-2 (большая редкость в те годы) обнаружил на подходе к бухте групповую цель, о чем было немедленно сообщено в штаб ПВО Новороссийского базового района. Однако средства ПВО не были приведены в готовность, воздушная тревога в порту и на кораблях не объявлялась, поэтому 64 пикирующих бомбардировщика за 15 минут в условиях дезорганизованного зенитного огня прицельно сбросили 170 бомб весом 250–1000 кг.

В итоге 10 кораблей и судов, в том числе «Ташкент», сразу были потоплены, 10 ед., включая крейсер «Коминтерн», повреждены. По совокупности произошедшего начальник базового района ПВО и оперативные дежурные штаба ПВО были расстреляны без излишних формальностей [11]. Как показали последовавшие события, эта явная поспешность, противоречащая логисти-



Рис. 2. На верхней палубе «Ташкента» легкораненые, больные и эвакуируемые лица готовятся покинуть корабль. В центре фотографии хорошо виден мостик с размещенной на нем штатной зенитной 37-мм батареей

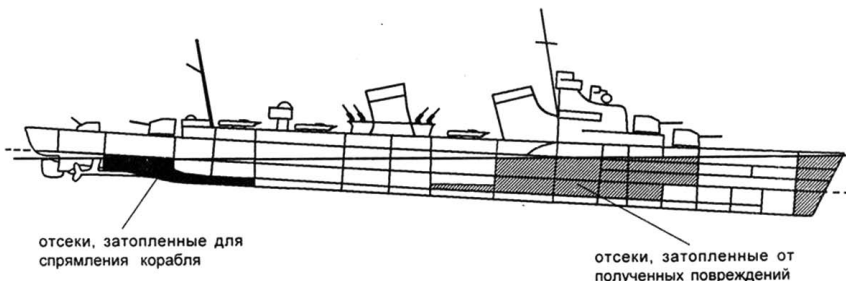


Рис. 3. Схема, показывающая дифферент и затопление отсеков после заключительного похода лидера «Ташкент» в Севастополь. Из схемы следует, что даже теоретическая плавучесть корабля на пределе. В кормовой части видна сверхштатная 76-мм зенитная артиллерия

ческому подходу, не позволила выявить более серьезные фигуры, на совести которых оказались эта и многие другие черноморские трагедии.

Несмотря на гибель многих ключевых фигур экипажа, с корабля до захвата города немцами сняли артиллерию. Ее использовали при обороне Новороссийска, а взятая «взаймы» зенитная башня 39-К была благородно возвращена в середине июля 1942 г. на эсминец «Огневой», находившийся в Батуми. Туда же как своеобразную плату за ее использование отправили две артустановки главного калибра Б-2ЛМ, принадлежавшие «Ташкенту» [12].

Строительство этого корабля возобновилось только осенью 1943 г., приемосдаточный акт был подписан 22 марта 1945 г. [13]. Таким образом, по крайней мере два с половиной года весьма эффективные артсистемы «загорали» под знойным солнцем Аджарии, не нанося врагу никакого вреда. Никто не рискнул еще раз взять их в «лизинг», а соответствующих правил, требующих активно использовать доступный ресурс, на концептуально-логистическом или директивном уровне сформулировано не было.

Попытка оставшуюся часть личного состава «Ташкента» включить в экипаж «Огневого», что было более чем разумно, и о чем ходатайствовал В. Н. Ерошенко, носила вялый, формальный характер. Командование быстро использовало людей для решения местных силовых задач, поскольку не было внедрено правило и не действует сейчас натренированный, а в данном случае проверенный в боях, экипаж использовать по назначению. Под такой экипаж следует подыскивать корабль, а не под корабль с бора по сосенке экипаж. Если в данное время можно поделить людьми, то сделать это следует в форме командировок. Надо позаботиться о том, чтобы люди в командировках не потеряли профессиональную форму, а лучше, чтобы ее там улучшили.

СОБЫТИЯ НАШИХ ДНЕЙ

Прошло 72 года со дня рассмотренных событий на Черноморском флоте. Но, заметим, рассказанные выше два случая из уже достаточно давней истории ВМФ имеют самое непосредственное отношение к сегодняшнему дню. Так, в рамках проведения зимней сочинской Олимпиады–2014 Черноморский флот заключил с 13-м СРЗ контракт на ре-

монт с новыми запчастями 26 кораблей. В процессе их поиска выяснилось, что к Олимпиаде ни один производитель изготовить и доставить в Севастополь такие детали не сможет. Перерабатывать контракт времени не оставалось, решили вместо ремонта с использованием новых запчастей осуществить агрегатную замену главных двигателей кораблей на такие же по типу двигатели, но не на новые. Поставленная перед флотом задача была решена, но Следственный комитет справедливо усмотрел вопиющие нарушения действующего законодательства. В результате Севастопольский гарнизонный военный суд 1 ноября 2014 г. приговорил директора 13-го СРЗ капитана 1 ранга С. А. Новогрибелского к 3 годам и 8 месяцам лишения свободы, а также к штрафу в 29 млн. 656 тыс. рублей [14].

Причина такой суровой реакции кроется в том, что восстановление, прежде всего оперативное, сложных систем с использованием возможностей декомпозиции остается и по сей день в статусе эвристических инновационных решений, осуществляемых предпринимателями людьми, готовыми рисковать головой и свободой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процедуры и технологии восстановления сложных военно-морских систем в условиях дефицита ресурсов, с точки зрения современной логистики, должны отрабатываться еще на стадии их проектирования, при этом необходимо создать в масштабе государства автоматизированную систему учета движения располагаемых им ресурсов, по типу ЕГАИС, позволяющую с использованием возможностей искусственного интеллекта изыскивать оптимальные схемы декомпозиции и займа ресурсов.

В масштабах силовых ведомств следует систематически проводить штабные игры по отработке оперативного восстановления сложных систем с использованием возможностей декомпозиции. Это позволит сохранить для государства значительные финансовые, материальные и человеческие ресурсы, а также разгрузить правоохранительные органы от контрпродуктивной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Декарт Р. Рассуждение о методе с приложениями. Диоптрика, метеоры, геометрия. – М.: АН СССР, 1953. – 273 с.
2. Koreneva E. B., Grosman V. R. Equation

decomposition method for solving of problems of statics, vibrations and stability of thin-walled constructions//International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2020. – Т. 16. – № 2. – Р. 63–70.

3. Нечаев Г. И., Банько А. И. Декомпозиция систем доставки строительных грузов в процессе исследования организации транспортного процесса//Интегрированная логистика. – 2010. – № 4. – С. 9–11.
4. Хрусталёв Е. Ю. Декомпозиция расходов на финансирование программ строительства и развития вооруженных сил российской федерации//Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2012. – Т. 8. – № 33 (174). – С. 7–13.
5. Григорьев М. Н., Нерестюк И. М. Логистический анализ современной практики восстановления сложных авиационных комплексов с использованием возможностей декомпозиции на основе зарубежного опыта//В сб.: Инновационные технологии и технические средства специального назначения. – Труды IX Общеросс. науч.-практ. конф., 2017, с. 62–67.
6. Григорьев М. Н., Кефели И. Ф., Уваров С. А. Автоматизация декомпозиции сложных радиоэлектронных приборов в логистике рециклинга//Научный журнал НИУ ИТМО. – Сер.: Экономика и экологический менеджмент. – 2016. – № 2. – С. 129–134.
7. Афанасьев К. А., Бойко А. М., Григорьев М. Н., Дигусов Н. Н., Охочинский Д. М., Охочинский М. Н., Чириков С. А. Инновационно-логистический подход к развитию сложных технических систем/Под ред. М. Н. Григорьева, М. Н. Охочинского. – СПб.: Изд. БГТУ, 2016.
8. Афанасьев К. А., Григорьев М. Н., Дигусов Н. Н., Матвеев С. А., Охочинский М. Н., Уваров С. А., Чириков С. А. Логистика. Анализ перспективных задач развития вооружения и военной техники/Под ред. М. Н. Григорьева, С. А. Уварова. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2016.
9. Birolli Bruno, Port-Arthur, 8 février 1904, 5 janvier 1905//Economica. – 2015.
10. Gardiner Robert: Conway's All the World's Fighting Ships 1860–1905. – London, England: Conway Maritime Press, 2002.
11. Ерошенко, В. Н. Лидер «Ташкент»/Ред. Н. Н. Ланин – М.: Воениздат, 1966. – 232 с.
12. Афонин Н. Н. Лидер «Ташкент». – СПб.: Гангут, 2008. – Т. 15. – 72 с.
13. Горшков С. Г. На южном приморском фланге. – М.: Воениздат, 1989.
14. Флотский строй покинул профессионал флотского судоремонта высочайшего класса капитан 1 ранга Сергей Анатольевич Новогрибелский... http://blackseafleet-21.com/news/7-09-2021_flotskiy-stroj-pokinul-professional-flotskogo-sudoremonta-vysochajshego-klassa-kapitan-1-r ■

Электродвижение судов зародилось более 180 лет назад в России и связано с именем известного ученого академика Бориса Семеновича Якоби, который создал в 1834 г. первый электродвигатель с непрерывным вращательным движением, а в 1838 г. применил его для вращения гребных колес лодки [1]. С 13 сентября 1838 г. по Неве начал ходить первый в мире электроход, представлявший собой небольшой катер с гребными колесами, которые приводились во вращение электромагнитным двигателем постоянного тока мощностью 0,736 кВт, работающим от аккумуляторной батареи.

Батарея сначала состояла из 120 элементов Даниэля, а затем из 128 элементов Грова. С 14 пассажирами лодка развивала скорость 4 км/ч (~2,2 уз). Изобретение электрохода было правильно оценено современниками как большое событие, однако зачаточное состояние электротехники и электромашиностроения России того периода не привело к сколько-нибудь широкому внедрению электродвижения.

В 60–80-х гг. XIX в. идея электропривода двигателей судов нашла последователей в других странах Европы. Для более удобного регулирования скорости судна независимо от судового двигателя, работающего с большим экономическим эффектом при постоянной частоте вращения, во Франции в 1893 г. была предложена электрическая передача от гребного электродвигателя к судовому винту [1]. Подобное судно демонстрировалось на Брюссельском международном конгрессе в 1898 г.

В начале XX столетия возрождается электродвижение надводных судов в России с создания в 1903 г. в Петербурге первых в мире дизель-электроходов «Вандал» (корпус постройки Сормовского завода) и в 1904 г. «Сармат». Главные дизели поставлял завод «Русский дизель» мощностью 3×83,3 кВт, которые являлись приводами генераторов постоянного тока. Суды имели водоизмещение порядка 1100 т, на них впервые было реализовано дистанционное управление энергетической установкой (ЭУ) с ходового мостика. Основным посылом применения электродвижения на транспортных судах было стремление использовать в качестве первичных двигателей дизели, которые в то время создавались нереверсивными.

В 1907 г. в Германии также был построен первый турбоэлектроход, судно имело машинную установку мощностью 885 кВт. В США успешно проведенные испытания опытного электрохода «Юпитер» в 1913 г. послужили поводом для применения электродвижения на относительно большом числе боевых кораблей и судов транспортного флота.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ БОЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЯХ

ЧАСТЬ 1

В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора АО «ЦМКБ «Алмаз»,

П.Г. Печковский, канд. техн. наук, зам. ген. директора

АО «Корпорация морского приборостроения» по науке и развитию,

А.В. Довличарова, инженер-конструктор АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 373 8300, 369 1233

Так, в США с 1916 по 1927 г. было построено 118 электроходов.

Характерным отличием боевых кораблей с электродвижением постройки указанного периода было использование асинхронных электродвигателей, последовательно соединенных друг с другом, для обеспечения высокой мощности гребной установки и, соответственно, высоких скоростей хода корабля.

Мощность турбоэлектрических установок авианосцев ВМС США «Lexington» (CV-2) и «Saratoga» (CV-3), построенных в этот период, достигала 156 600 кВт каждой. Гребная установка состояла из четырех турбогенераторов и восьми гребных асинхронных электродвигателей мощностью 8×19 560 кВт. Применение на авианосцах турбоэлектрических установок было обусловлено отсутствием в США в то время зубчатых редукторных передач, способных передавать крутящий момент от паровых турбин большой агрегатной мощности на винт.

Боевые корабли с турбоэлектрическими гребными установками и асинхронными электродвигателями в США строились вплоть до 1941 г.

Несмотря на возрождение в начале XX столетия электродвижения на надводных судах в России на боевых надводных кораблях, этот вид передвижения распространения не получил. С

начала XX в. на кораблях активно начали внедряться паротурбинные и дизельные ЭУ с непосредственной передачей крутящего момента от паровой турбины или дизеля через главный редуктор на гребной винт. С началом 50–60-х гг. на кораблях также начала внедряться газотурбинная энергетика, которая занимает доминирующее положение и по настоящее время.

В других морских державах, таких как, например, Великобритания, Франция, Италия и Япония, на боевых надводных кораблях вплоть до начала XXI в. система электродвижения распространения также не получила.

Активный всплеск интереса к системам электродвижения в военном кораблестроении начал проявляться в конце XX – начале XXI столетия, что стало следствием повышения значимости решения задач противолодочной обороны (ПЛО) многоцелевыми надводными кораблями.

Первым зарубежным боевым кораблем с системой частичного электродвижения был головной корабль серии из 16 фрегатов «Duke» пр. 23, введенный в состав британских ВМС в 1990 г. (рис. 1). Корабль отличался принципиально новой компоновочной схемой главной ЭУ (ГЭУ) – CODLAG (англ. COmbined Diesel-eLectric And Gas turbine) (рис. 2).



Рис. 1. Британский фрегат «Duke» пр. 23

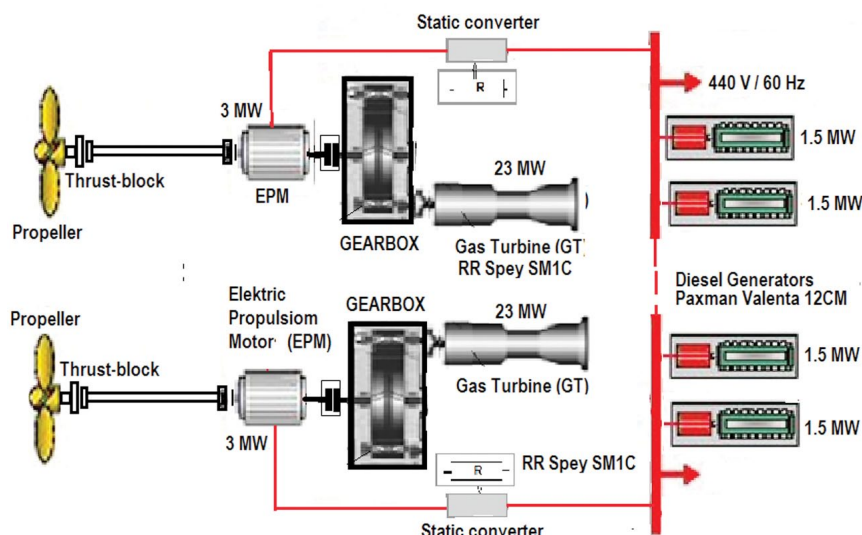


Рис. 2. Принципиальная схема ЭУ британских фрегатов пр. 23 типа «Duke»

ЭУ корабля, выполненная по схеме CODLAG, включает два газотурбинных двигателя (ГТД) Spey SM1C фирмы Rolls-Royce суммарной мощностью 23 МВт, четыре дизель-генератора Paxman Valenta 12CM мощностью 4×1,5 МВт каждый и два гребных электродвигателя ГЭС мощностью 2×3,0 МВт, работающих на два винта регулируемого шага (ВРШ).

Основным отличием ЭУ данного типа от других комбинированных дизельных, газотурбинных и дизель-газотурбинных ЭУ является то, что на режимах малых скоростей хода корабля работают два ГЭД, которые питаются от дизель-генераторов, одновременно вырабатывающих электроэнергию для других корабельных нужд.

Данная специфическая схема ЭУ была разработана специально для фрегатов данного типа (названных фрегатами ПЛО XXI в.) и на других боевых кораблях до этого не применялась. При проектировании корабля одним из основных требований было обеспечение малой шумности силовой установки, особенно при выполнении фрегатом поисковых задач при работе с развернутой буксируемой гидроакустической станцией (ГАС) на скоростях хода 12 – 15 уз.

Однако на экономических ходах более чем вдвое возросли потери при передаче энергии от первичного источника энергии к гребному винту, а также существенно возросли масса ЭУ и водоизмещение корабля, которое увеличилось не менее чем на 10%.

Таким образом, еще на начальной стадии активного внедрения систем электродвижения на боевых надводных кораблях было установлено, что такое техническое решение имеет «высокую цену», т.е. способствует ухудшению экономичности и увеличению габаритов и массы ЭУ, которые в совокупности приводят к увеличению водоизмещения ко-

рабля и стоимости его постройки и эксплуатации.

Увеличение стоимости постройки была обусловлена не только ростом водоизмещения корабля, но и появлением в составе ЭУ таких дополнительных дорогостоящих элементов, как гребные электродвигатели, генераторы электроэнергии, частотные преобразователи, трансформаторы и др., которые отсутствуют при использовании прямодействующих передач крутящего момента на винт.

Тем не менее указанные недостатки системы электродвижения несколько не насторожили кораблестроителей, и с начала XXI в. наступает переломный период в развитии корабельной энергетики ведущих западных стран, обусловленный новым видением конструкторами перспектив ее развития, связанным с переходом на электродвижение, причем не только на частичное, но и на полное [2 – 6].

Основными аргументами в пользу внедрения системы электродвижения, по мнению зарубежных конструкторов, являются следующие ее преимущества [2 – 6]:

- плавность изменения хода корабля при управлении частотой вращения винтов с ходовой рубки, что важно на поисковых режимах ПЛО, а самое главное – появляется возможность минимизировать уровень акустического шума путем вывода из действия ГЭУ;
- низкий уровень шума, простота и быстрота осуществления реверса без использования сложного комплекса редукторных передач;
- возможность перекрестного включения ГЭД;
- большая свобода размещения на корабле генераторов электроэнергии и связанные с этим возможности повышения живучести ЭУ.

Здесь следует сразу отметить, что преимущество, связанное с большой

свободой размещения на корабле генераторов электроэнергии, сильно преувеличено, так как нельзя забывать о том, что все генераторы приводятся во вращение тепловыми двигателями, которые оснащаются воздухоподводящими и газовыхлопными устройствами. Указанные устройства в обеспечение живучести ЭУ невозможно свободно размещать от кормы до носа корабля, как правило, их размещают рядом с воздухоподводящими и газовыхлопными устройствами главных двигателей.

За рубежом в таких странах, как США, Франция, Нидерланды и Германия, с начала 2000-х гг. активно ведутся работы по созданию перспективных корабельных ЭУ, в которых реализуется принцип «полного электродвижения» (*Full electric propulsion*) Великобритания. Внедрение системы *Full electric propulsion* подразумевает использование ГЭД на всех ходовых режимах, что является принципиальным ее отличием от комбинированных установок с частичным электродвижением типа CODLAG или CODLOG (англ. *COmbined Diesel-eLectric Or Gas turbine*). Как полагают исследователи, применение данного принципа позволит исключить из состава ГЭУ (или сократить до минимума) громоздкие редукторные передачи и протяженные линии вала, являющиеся неотъемлемой частью комбинированных установок различного типа, в том числе CODLAG и CODLOG [2 – 6].

Основная идея конструкторов при реализации полного электродвижения на надводных кораблях базировалась также на основе новых технологий и конструкционных материалов, позволяющих значительно снизить массогабаритные характеристики электротехнического оборудования, таких как, например, технология производства твердотельных полупроводников, используемых в силовом электрооборудовании. Кроме того, в начале XXI столетия в электромашиностроении при производстве электродвигателей и генераторов стали применять новые конструкционные материалы, такие как постоянные магниты с полем большой индуктивности и высокотемпературные сверхпроводники, позволяющие значительно увеличить удельную мощность и КПД электротехнического оборудования.

Определенные надежды также возлагались на активно ведущиеся работы по совершенствованию технологий прямого преобразования химической энергии топлива в электроэнергию с использованием топливных элементов. В случае успешной реализации указанного направления перед конструкторами открываются широкие перспективы в плане значительного увеличения КПД и снижения шумности корабельных ЭУ.

Появляется возможность исключить из состава корабельных ЭУ тепловые двигатели, т.е. дизельные, газотурбинные и др. как наиболее сложные и напряженные узлы в составе ЭУ, что приводит к изменению всей архитектуры комплектования ЭУ. Однако на сегодняшний день указанные надежды отодвигаются на отдаленную перспективу, так как накопленный опыт и достигнутые успехи в области прямого преобразования химической энергии топлива в электрическую пока весьма скромные.

Наиболее интенсивные работы по созданию объединенной электроэнергетической системы (ОЭЭС) для надводных кораблей проводились в США и Великобритании, которые были ориентированы на концепцию «полностью электрического корабля» (*Full Electric Ship*). Реализация указанной концепции, кроме собственно системы полного электродвижения, предполагает замену пневматических, паровых и гидравлических приводов главных и вспомогательных механизмов и систем электрическими приводами [2 – 6].

Еще одним аргументом в пользу использования на перспективных кораблях единой электроэнергетической системы с полным электродвижением стало развитие оружия и вооружения (боевые лазеры, электромагнитные пушки, электромагнитные катапульты и др.). Использование подобного вооружения предполагает значительное электропотребление, мощность которого может быть соизмерима с мощностью главной ЭУ. Поэтому использование единой электроэнергетической системы позволяет рационально комбинировать нагрузки электропотребителей, т.е. на больших скоростях хода основная нагрузка приходится на систему электродвижения, а на малых скоростях хода – на системы вооружения.

Следует отметить, что система полного электродвижения на сегодняшний день реализована на британских эскадренных миноносцах пр. 45 типа «Daring» (постройки 2003–2013 гг., 6 ед., рис. 3) и авианосцах типа «Queen Elizabeth» (постройки 2009–2019 гг., 2 ед., рис. 5), а также на эсминцах ВМС США DD(X) типа «Zumwalt» (постройки с 2011 по н.в., 3 ед., рис. 7).

Объединенная электроэнергетическая система (ОЭЭС) эсминца «Daring» (рис. 4) включает: два газотурбогенератора (ГТГ) общей мощностью 42 000 кВт и два резервных дизель-генератора общей мощностью 4000 кВт, а также два 15-фазных асинхронных ГЭД фирмы Alstom мощностью 2×20 000 кВт.

В качестве приводов ГТГ используются ГТД типа RR WR-21 со сложным циклом производства компании Rolls-Royce-Northrop Grumman, максималь-



Рис. 3. Британский эсминец «Daring» пр. 45

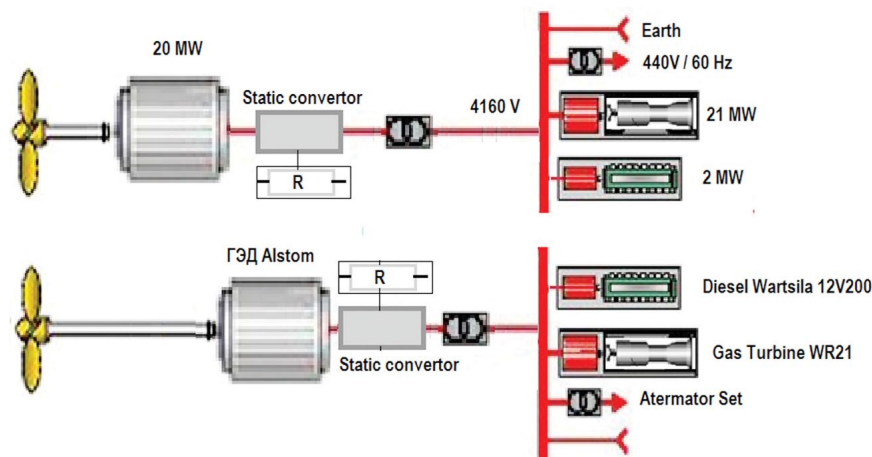


Рис. 4. Принципиальная схема ОЭЭС эсминца «Daring»

ная мощность которых составляет около 25 МВт (24 680 кВт, или 33 530 л. с.).

В качестве приводов дизель-генераторов используются дизельные двигатели типа 12V200 фирмы Wartsila, что позволяет улучшить экономичность ГЭУ в целом. В ЭЭС корабля для движения используется повышенное напряжение – 4160 В, а частота вращения ГЭД на полном ходу составляет 180 об/мин. Общекорабельная сеть распределения электроэнергии рассчитана на напряжение 440 В при частоте тока 60 Гц.

ГЭУ обеспечит скорость полного хода порядка 30 уз, дальность плава-

ния на скорости хода 18 уз составляет 7000 миль.

ОЭЭС авианосца «Queen Elizabeth» (рис. 5) является развитием системы электродвижения эсминцев пр. 45 и в своем составе имеет (рис. 6): два ГТГ с приводами ГТД RR MT30 мощностью 2×36 МВт, два дизель-генератора с приводами от дизельных двигателей фирмы Wartsila мощностью 2×11 МВт и два дизель-генератора с приводами от дизельных двигателей фирмы Wartsila мощностью 2×9 МВт.

В ОЭЭС для движения, так же как и на эсминцах «Daring», используется



Рис. 5. Британский авианосец типа «Queen Elizabeth»

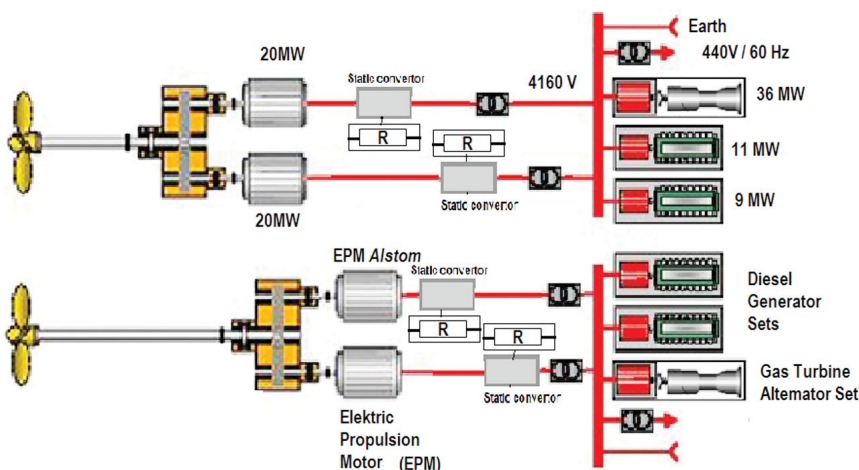


Рис. 6. Принципиальная схема ОЭЭС авианосца «Queen Elizabeth»

повышенное напряжение – 4160 В и в качестве приводов винтов фиксированного шага (ВФШ) применены аналогичные четыре 15-фазных асинхронных электродвигателя фирмы Alstom мощностью $4 \times 20\,000$ кВт. ГЭД распределены по два на каждую линию вала с отдельным питанием каждого ГЭД, крутящий момент от которых на винт передается через суммирующий редуктор (рис. 6). Общекорабельная сеть распределения электроэнергии также рассчитана на напряжение 440 В при частоте тока 60 Гц.

Если для сравнения рассмотреть системы электродвижения британских авианосцев и эсминцев пр. 45, то несложно заметить, что в основу системы заложена одна и та же концепция, параметры работы электрической сети

идентичны. Отличие состоит в использовании более мощных ГТГ и применяемых для их приводов ГТД типа RR MT30, а также в использовании четырех, вместо двух, дизель-генераторов фирмы Wartsila существенно большей мощности и в использовании четырех вместо двух аналогичных ГЭД.

При разработке системы полного электродвижения ЭМ УРО «Zumwalt» (рис. 7) в ВМС США учитывался опыт создания системы электродвижения подводных лодок «Ohio», на которых система электродвижения использовалась только на малых скоростях в режиме «подкрадывания», чтобы снизить акустический шум, излучаемый главным редуктором. Для движения на крейсерских скоростях такая система оказалась недостаточно на-

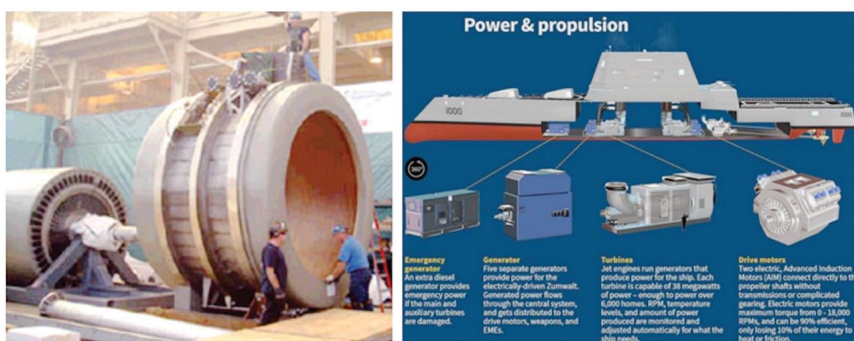


Рис. 7. Элементы системы электродвижения эсминца «Zumwalt» пр. DD(1000)

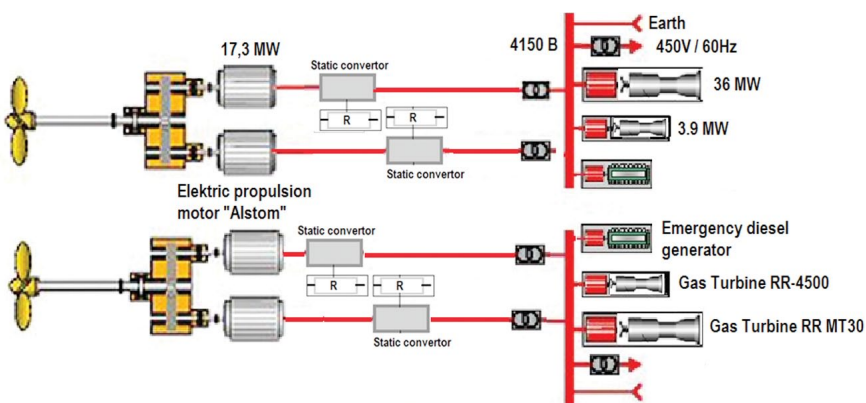


Рис. 8. Принципиальная схема ОЭЭС эсминца УРО ВМС США пр. DD(1000) типа «Zumwalt»

дежной и мощной, поэтому «Ohio» переходил на крейсерской скорости на прямодействующую передачу от турбины через главный редуктор на винт, минуя две ступени преобразования энергии.

Конструкторам эсминца «Zumwalt» удалось убедить ВМС США, что они решат проблемы надежности ЭУ с ОЭЭС и что прямодействующей передачи крутящего момента от теплового двигателя на винт на таких кораблях не требуется.

ОЭЭС эсминца пр. DD(1000) «Zumwalt» (рис. 8) включает два ГТГ с приводами ГТД RR MT30 мощностью 2×36 МВт, два ГТГ с приводами ГТД RR-4500 мощностью $2 \times 3,9$ МВт и два аварийных дизель-генератора.

В ЭЭС для движения, так же как и на эсминцах типа «Daring» и авианосцах типа «Queen Elizabeth», используется повышенное напряжение в 4150 В и в качестве приводов ВФШ применены аналогичные четыре 15-фазных асинхронных электродвигателя фирмы Alstom с ограничением мощности до $4 \times 17\,300$ кВт. ГЭД также распределены по два на каждую линию вала с отдельным питанием каждого. Общекорабельная сеть распределения электроэнергии также рассчитана на напряжение 450 В при частоте тока 60 Гц.

Важным посылом, определившим реализацию программы ОЭЭС на эсминцах УРО ВМС США пр. DD(X), послужила модульная технология поставки и обслуживания основного оборудования корабельных ЭУ. При создании ОЭЭС были использованы стандартные общие модули, производимые независимо несколькими компаниями, предназначенные для компоновки ЭУ. Такой принцип построения ЭУ открывает возможность внедрения перспективных конструктивно-схемных решений путем замены стандартных модулей без серьезной модернизации всей ЭУ (рис. 9).

ОЭЭС эсминца пр. DD(1000) «Zumwalt» включает в себя шесть основных модулей (см. рис. 9):

- генераторы (PGM – Power Generation Modules),
- распределители (PDM – Power Distribution Modules),
- преобразователи (PCM – Power Conversion Modules),
- накопители (ESM – Energy Storage Modules) электроэнергии, а также
- ГЭД (PMM – Power Motor Modules);
- посты дистанционного управления силовой установкой (PCON – Power Control Modules).

Модули генераторов электроэнергии. Согласно зарубежным публикациям по проблемам корабельной энергетики [2 – 6], по мере разработки и апробации перспективных технологий и конструктивно-схемных решений,

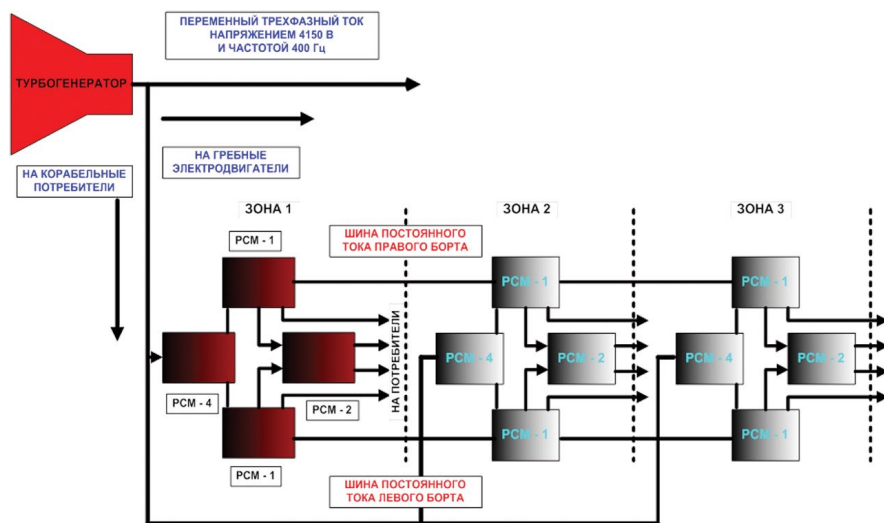


Рис. 9. Структурная схема модулей ОЭЭС эсминца «Zumwalt» пр. DD (1000)

внедряемых в ЭУ строящихся кораблей ВМС США, таких как ЭМ УРО пр. DD (X), эволюционное развитие ОЭЭС будет проходить в два этапа и коснется в основном модулей генераторов электроэнергии.

На первом этапе (2010–2025 гг.) в качестве модулей генераторов электроэнергии для систем электродвижения и обеспечения общекорабельных потребностей перспективных ЭМ УРО пр. DD (X) будут использоваться два модуля ГТГ, в состав которых входят ГТД RR MT-30 производства компании Rolls-Royce и синхронные генераторы мощностью по 36 МВт, вырабатывающие переменный ток напряжением 4150 В с частотой 400 Гц. В качестве резервных источников электроэнергии служат два ГТГ суммарной мощностью 7,8 МВт. Таким образом, выходная мощность всей ОЭЭС перспективного ЭМ УРО DD(X) ВМС США составляет около

80 МВт, что практически в 10 раз больше, чем ЭЭС ЭМ УРО типа «Arleigh Burke».

На первом этапе развития КЭУ ЭМ УРО DD (X) в составе ОЭЭС рассматривалась также возможность использования синхронных генераторов с обмотками из высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) материалов [2, 3].

Применение ВТСП генераторов (в сравнении с имеющими обмотки из меди) позволяет вдвое снизить массовые характеристики этих модулей, увеличить крутящий момент на малых нагрузках, уменьшить стоимость жизненного цикла и достичь высокого КПД генераторов (до 98 %) в широком диапазоне нагрузок [2 – 6]. Основные характеристики генераторов с обмотками из ВТСП материалов мощностью 40 и 50 МВт, разработанных компанией American Super Conductor, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики генераторов с обмотками из ВТСП материалов, разработанных компанией «American Super Conductor»

Наименование характеристики, ед. изм.	Значение	
Мощность, МВт	40	50
Частота вращения, об/мин	3600	3600
Количество полюсов	2	2
Коэффициент мощности (cos φ)	0,9	0,9
Количество фаз	3	3
Напряжение, кВ	13,8	13,8
Коэффициент полезного действия, %	98,9	99,0

Однако практически реализовать применение генераторов с обмотками из ВТСП материалов в корабельных условиях конструкторам до настоящего времени не удалось.

Проектом ОЭЭС для перспективного ЭМ УРО пр. DD(X) в боевых и повседневных условиях использования корабля предполагается задействовать оба основных модуля ГТГ, ГТУ которых должны работать в оптимальном режиме нагрузок, т.е. с наименьшим расходом топлива, обеспечивая высокую экономичность ОЭЭС в целом. При выходе из строя одного из двух ГТГ (в случае аварии или боевого повреждения) скорость хода до 27 уз в состоянии обеспечить другой генератор.

На втором этапе развития ОЭЭС надводных кораблей ВМС США, к реализации которого предполагалось приступить с 2025 г., в качестве источников электроэнергии планировалось использовать уже топливные элементы (ТЭ) электрохимических генераторов (ЭХГ), которые вырабатывают постоянный ток с заданными характеристиками. В отличие от тепловых двигателей ТЭ позволяют преобразовать химическую энергию топлива непосредственно в электрическую энергию, исключив такие фазы, характерные для тепловых двигателей, как преобразование химической энергии в тепловую энергию и механическую работу, которые сопровождаются значительными потерями, до 60% и более. В этом случае отпадала бы необходимость в использовании инверторов (преобразователей переменного тока в постоянный), что влияет на массогабаритные характеристики ЭУ. Предполагалось, что на данном этапе технологического развития наиболее предпочтительными для использования на кораблях являются два типа ТЭ – на твердых окислах и на протонных мембранах.

Однако сегодняшний опыт и практические достижения в области развития топливных элементов ЭХГ свидетельствуют о переносе указанных «затей» на отдаленную перспективу, с непредсказуемыми результатами и сроками начала их внедрения в энергетику надводных кораблей, заменив при этом тепловые двигатели (газотурбинные, дизельные и др.). ■

Продолжение следует

В настоящее время в мире наблюдается растущий интерес к ядерным энергетическим установкам с жидкометаллическим теплоносителем (ЯЭУ с ЖМТ). Следует отметить, что реактор на быстрых нейтронах со свинцово-висмутовым теплоносителем (СВТ) признан одной из шести перспективных реакторных технологий, предлагаемых в рамках международного проекта «Generation-IV International Forum» (GIF) в качестве основы ядерной энергетики будущего. Программа «Generation-IV», впоследствии преобразованная в крупный международный проект GIF, разработана в 2000 г. с целью организации международного сотрудничества по разработке перспективных ЯЭУ и установок четвертого поколения. В составе участников проекта GIF – Аргентина, Канада, Франция, Япония, Республика Корея, ЮАР, Великобритания, США, Китай и Россия.

В нашей стране после вывода из эксплуатации последней АПЛ пр. 705К в 1997 г. не осталось действующих ЯЭУ с СВТ. Разрабатывавшиеся в конце 80-х гг. прошлого века проекты ЯЭУ с ЖМТ на практике реализованы не были.

На сегодняшний день в России вновь активно ведутся работы над проектами ЯЭУ с данным типом теплоносителя. Реализуются проекты таких энергетических реакторов с СВТ, как СВБР-100, БРЕСТ-ОД-300 [1].

Целесообразность использования эвтектического сплава свинец-висмут (РЬ – ~44%, Вн – ~56%) в качестве теплоносителя обусловлена его физико-химическими и термодинамическими свойствами, позволяющими в наиболее полной степени удовлетворить требованиям, предъявляемым к паропроизводящим установкам (ППУ) в составе транспортных ЯЭУ. Это касается прежде всего массогабаритных характеристик, маневренности и безопасности [2].

Невысокая температура плавления СВТ (~125 °С) обеспечивает возможность ремонта оборудования и перегрузки топлива без дренирования при поддержании его в жидком состоянии при температуре 160–180 °С за счет работы системы обогрева теплоносителя.

Решение об использовании транспортных ЯЭУ с ЖМТ может быть принято по результатам конкурсного проектирования установок с различными типами ЯЭУ с учетом результатов испытаний и эксплуатации наземных стендов-прототипов.

Научно-технический задел, накопленный при освоении ЯЭУ с ЖМТ для АПЛ, позволил создать базу для разра-

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЯЭУ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

*А.А. Горбачев, инженер-конструктор 1-й категории,
А.А. Иванов, инженер-конструктор 1-й категории,
АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит»,
контакт. тел. +7 (911) 838 2087*

ботки инновационной реакторной свинцово-висмутовой технологии, удовлетворяющей требованиям к реакторам XXI в [2].

ПРОБЛЕМА «ЗАМОРАЖИВАНИЯ–РАЗМОРАЖИВАНИЯ» ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В 1958 г. первая отечественная ЯЭУ с ЖМТ (стенд 27/ВТ) была выведена на энергетический режим работы. Стенд 27/ВТ представлял собой наземный прототип ППУ АПЛ пр. 645 [3, 4]. По результатам эксплуатации стенда 27/ВТ в 1959 г. на Северном машиностроительном предприятии состоялась закладка первой и единственной АПЛ пр. 645 – К-27 (рис. 1) [3].

При эксплуатации этой АПЛ важной практической проблемой было обоснование возможности многократного «замораживания-размораживания» СВТ, что могло потребоваться при длительных выводах АПЛ из эксплуатации. Исклучению повреждения ППУ при переходе СВТ из жидкого в твердое состояние и дальнейшем его охлаждении до температуры окружающей среды способствуют небольшая усадка СВТ при затвердевании и достаточно высокая пластичность при низкой прочности в твердом состоянии. Для безопасного

«размораживания» ППУ был отработан специальный регламент температурно-временного режима разогрева, проведенный на крупномасштабных моделях и ППУ правого борта АПЛ пр. 645 после ее длительного пребывания в «замороженном» состоянии. Однако этот режим не был внедрен в практику в связи с принятым в середине 90-х гг. решением о прекращении дальнейшей эксплуатации АПЛ этого типа [2].

На первом этапе освоения ППУ с ЖМТ была применена паровая система обогрева РУ, что в итоге привело к существенным сложностям при ее монтаже и эксплуатации, снижало ее надежность и делало практически невозможным ввод в действие ЯЭУ после затвердевания теплоносителя в трубопроводах.

Нужно сказать, что свойство СВТ затвердевать при 125 °С в некоторых случаях играло и положительную роль. Например, при хранении отработанного «замороженного» СВТ формируется дополнительный защитный барьер на пути выхода радиоактивности в окружающую среду.

В дальнейшем опыт, полученный при эксплуатации АПЛ К-27, был использован при создании АПЛ следующего поколения. Для отработки и испытаний



Рис. 1. Атомная подводная лодка пр. 645

ППУ был построен наземный стенд-прототип КМ-1 и семь АПЛ с ППУ с СВТ по проектам 705 и 705К [1] (рис. 2).

Следовательно, для опережающей отработки транспортных ЯЭУ и проведения комплексных испытаний и иссле-

обеспечить повышение качества алгоритмов и ФПО [5]. Основное направление повышения качества – это автоматизация всего комплекса работ по созданию ФПО с отработкой алгоритмов управления на комплексных математических моделях объекта до поставки аппаратуры системы обогрева СВТ на заказ.

Комплект аппаратуры функционирует во взаимодействии с имитатором объекта управления, в качестве которого используется математическая модель, созданная с помощью различных инструментально-программных средств. Соответственно, повышение качества ПО приведет к значительному уменьшению объема отладочных работ при подготовке и проведении межведомственных и приемосдаточных испытаний.

Существенное повышение качества алгоритмов управления и контроля может быть достигнуто на основе автоматизации работ по созданию ПО с отработкой алгоритмов на комплексных динамических математических моделях объекта до поставки аппаратуры системы управления на заказ, а впоследствии при внесении модификаций и корректировок в ПО. Целесообразность такого подхода была отмечена академиком В. А. Василенко более двадцати лет назад в работах по сквозной интеграции технологии создания систем управления ЯЭУ, и с тех пор такие предприятия, как ФГУП «НИТИ им. А. П. Александрова», АО «Концерн «НПО Аврора», АО «ОКБМ Африкантов» и АО «СПМБМ «Малахит», ведут работы в данном направлении.

Математические модели помогают понять процессы, устанавливая качественные и количественные характеристики их состояний и предсказать динамику интересующих в данных процессах характеристик. Это, в свою очередь, неизбежно связано с необходимостью исследования допустимости различных режимов работы, оценки, отработки алгоритмов управления и прогнозирования технического состояния. Причем особое внимание требует моделирование потенциально опасных переходных режимов, таких как пуск и расхолаживание ЯЭУ, и процессов, связанных с нарушением нормальных условий эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных в последние годы комплексов НИР и ОКР подготовлена научно-техническая база для создания нового поколения автоматизированных радиационных установок (РУ) с ЖМТ на инновационных решениях, обладающих повышенной ядерной и радиационной безопасностью, надежностью, улучшенными мас-



Рис. 2. Атомная подводная лодка пр. 705К

Основным недостатком ЯЭУ с ЖМТ следующего поколения стало наличие сложного и громоздкого берегового комплекса, в который должны были входить специальная котельная для поддержания сплава ЖМТ в жидком состоянии и электроподстанция, обеспечивающая корабль электропитанием с нестандартными электротехническими характеристиками (по частоте и напряжению).

Теплообмен в жидких металлах имеет свои особенности, в значительной степени обусловленные их высокой теплопроводностью и, соответственно, низким значением числа Прандтля. При низких значениях числа Прандтля понятие теплового пограничного слоя, который в данном случае распространяется до центра канала, теряет смысл. При изучении теплообмена жидких металлов, прежде всего, в области теплоотдающей поверхности следует учитывать поведение примесного состава ЖМТ у поверхностей его циркуляции для номинального режима и при отклонениях от режима нормальной эксплуатации, а также осуществлять контроль за его состоянием [4].

Таким образом, оптимальным решением вопросов создания и отработки алгоритмов разогрева и охлаждения СВТ с учетом особенностей гидродинамики и теплообмена в ЖМТ, должно способствовать создание комплексных математических моделей, которые позволили бы исследовать работу ЯЭУ с ЖМТ в различных динамических режимах, особенно на режимах пуска и расхолаживания, учитывая изменение агрегатного состояния СВТ.

Также стоит отметить, что использование электрической системы обогрева теплоносителя вместо паровой значительно снизит требования, предъявляемые к береговым системам обеспечения.

дований до начала их серийного производства необходимо создавать комплексные математические модели. Каждый эксперимент с ЯЭУ сначала должен быть отработан на компьютерной модели. Это позволит безопасно и с малыми затратами исследовать поведение СВТ на таких режимах, как пуск и расхолаживание, для последующей отработки алгоритмов «замораживания – размораживания» теплоносителя.

Созданная теплогидравлическая математическая модель должна использоваться для последующей разработки и отладки алгоритмов управления в составе системы управления.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ОТЛАДКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЯЭУ

В процессе создания комплексных систем управления технических средств транспортных ЯЭУ следует учитывать опыт разработки цифровых систем последних заказов и, в частности, необходимость сокращения сроков стендовых, швартовых и ходовых испытаний за счет уменьшения объема доработок функционального программного обеспечения (ФПО), непосредственно реализующего алгоритмы управления в штатной аппаратуре. В настоящее время, когда программное обеспечение системы управления проходит отладку и настройку на испытательном стенде или работающем объекте, издержки тестовой эксплуатации считаются неизбежными.

Наиболее рациональное решение постулируемых проблем – использование технологий, которые, с одной стороны, должны быть совместимы с существующими и не приводить к их кардинальному изменению, а с другой,

согabarитными и эксплуатационными характеристиками. Разработанные технические решения направлены на устранение недостатков РУ с ЖМТ, выявленных при их эксплуатации в составе выведенных из строя АПЛ.

Для опережающей отработки ЯЭУ и проведения комплексных испытаний и исследований до начала их серийного производства необходимо создавать комплексные математические модели. Каждый эксперимент с ЯЭУ сначала отрабатывается на компьютерной модели. Это позволяет безопасно и с малыми затратами исследовать поведение реактора на различных режимах, включая аварийные, для последующей отработки алгоритмов управления.

Одна из морских операций на морском судне – буксировка подводных и надводных объектов. При выполнении этой операции неотъемлемой принадлежностью является буксирная лебедка, относящаяся к судовым палубным устройствам [1]. В зависимости от требований, предъявляемых к этим лебедкам, их выполняют с некоторыми конструктивными отличиями. Наиболее проста используемая на буксирных судах некоторых типов неавтоматическая буксирная лебедка-вьюшка (рис. 1, а). Ее назначение – травить или выбирать канат при нагрузках, не превышающих номинальные (например, выбирать ослабленный в результате снижения скорости хода буксира канат или выбирать ненагруженный буксирный канат после отдачи его с буксируемого судна) и травить канат при передаче его перед буксировкой на это судно. В процессе буксировки лебедка-вьюшка должна удерживать буксирный канат на заторможенном барабане.

Механизм состоит из электродвигателя 10, связанного зубчатой муфтой 9 с трехступенчатым редуктором 8, барабана 13 с встроенной внутрь него четвертой – планетарной – ступенью передачи, канатоукладчика 3 и турачек 4 и 20. Электродвигатель оборудован пристроенным дисковым тормозом. Барабан снабжен размещенным слева от него предохранительным (силоизмерительным) устройством, а справа – ленточным тормозом. Солнечная шестерня 16 планетарной ступени насажена на грузовой вал 12. Водило 15 болтами присоединено к барабану. Корончатое колесо 14 связано с ободом тормозного шкива 1 предохранительного устройства. Этот шкив при определенных условиях может вращаться в подшипнике скольжения 17.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федорович Е. Д., Курдюков И. И. Аналитический обзор опыта эксплуатации и современных разработок ядерных энергетических установок средней и малой мощности с жидкометаллическим теплоносителем. – Ч. 2 // Технологии обеспечения жизненного цикла ЯЭУ. – 2020. – № 3 (21).
2. Тошинский Г. И. Атомная энергетическая установка с жидкометаллическим теплоносителем для подводных лодок. Роль российской науки в создании отечественного подводного флота // Под общ. ред. А. А. Саркисова; РАН. – М.: Наука, 2008–654 с.
3. Тошинский Г. И. Первый в мире реактор с теплоносителем свинец-висмут.

- Стенд 27/ВТ: Как все начиналось / 5-я Международ. конфер. «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях» (ТЖМТ-2018), Обнинск: ГНЦ РФ-ФЭИ, 2019, с. 8–57.
4. Сорокин А. П., Кузина Ю. А. Физическое моделирование гидродинамики и теплообмена в быстрых реакторах с жидкометаллическим теплоносителем // Атомная энергия. – 2020. – Т. 12. – Вып. 5 (май).
 5. Замуков В. В., Курдюков И. И., Разуваев Е. Н. Внедрение сквозной технологии разработки алгоритмов управления сложными техническими системами объектов ВМФ // Военное кораблестроение. – 2012. – Т. 2. ■

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ БУКСИРНОЙ ЛЕБЕДКИ

А. В. Ивановская, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
контакт. тел. +7(978) 003 0690

Основные режимы работы лебедки:

- травление (выбирание) каната двигателями;
- буксировка при постоянной длине вытравленного каната, этот режим осуществляется при заторможенных барабанах с помощью тормозов соответственно и обесточенных электродвигателей;
- свободное травление каната, на этом режиме тормоза освобождены, а ведущие шестерни редукторов и валы, связанные с электродвигателями, разобщены с помощью муфт.

Номинальные тяговые усилия на барабане для сравнительно больших лебедок этого типа невелики и принимаются равными 20–40 кН (2–4 тс). Однако в процессе буксировки, которая ведется этими лебедками при заторможенном барабане и, следовательно, при неизменной длине каната, восприятие динамических нагрузок возможно лишь за счет изменения его провисания. Поэтому в таких лебедках расчетные нагрузки на канат превышают указанные номинальные усилия в 3–6 раз. При движении на тихой воде к буксирному канату прилагается усилие, равное сопротивлению буксируемого объекта. Во время волнения на канат, кроме указанной силы, действует сила, возникающая под влиянием продольной качки, которая приводит к изменению расстояния между точками закрепления буксирного каната

(взаимное сближение и удаление судов). Максимальное увеличение расстояния между судами может достигать размера, равного высоте волны, при которой осуществляется буксировка. В случае увеличения расстояния между судами натяжения каната существенно возрастает по сравнению с приложенной к нему тягой буксировщика. Также в процессе буксировки подводных объектов возможны зацепы о неровности поверхности дна, что может привести к разрыву каната.

В целях обеспечения безопасности буксировки желательно изменять длину каната при маневрах, связанных с изменением акватории, погоды и т. п. Увеличение длины буксирного каната посредством стравливания его с барабана лебедки не представляет сложностей. Иначе обстоит дело с уменьшением этой длины. Когда перед началом выбирания каната лебедкой соответственно снижается скорость хода буксира, эта операция выполняется при номинальной мощности привода лебедки. В случае неизменной скорости хода буксира выбирание каната лебедкой сопровождается увеличением скорости буксируемого объекта и соответствующей затратой дополнительной мощности. Все это может привести к резкому изменению нагрузок на канаты, грузовые валы, фундаменты и несущие элементы конструкции корпуса судна [2]. Поэтому на стадии

а)



б)

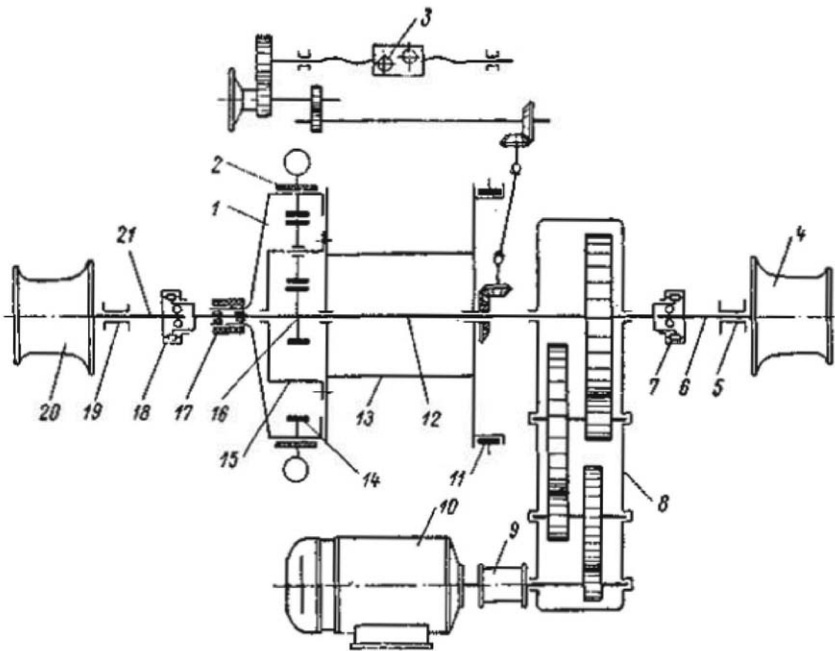


Рис. 1. Буксирная лебедка (а) и ее схема (б)

1 – тормозной шкив; 2 – тормоз; 3 – канатопуладчик; 4 и 20 – турачки; 5 и 19 – муфта; 6 и 21 – вал; 7 – муфта; 8 – трехступенчатый редуктор; 9 – зубчатая муфта; 10 – электродвигатель; 12 – грузовой вал; 14 – корончатое колесо; 15 – водило; 16 – шестерня; 17 – подшипник скольжения

проектирования судового палубного устройства необходимо предусмотреть возникающие динамические нагрузки, возникающие при операциях с буксируемым объектом.

Цель работы – исследование поперечных колебаний элементов буксирной лебедки.

В качестве объекта исследования рассмотрим поперечные колебания, возникающие на турачке лебедки. Для этого представим ее в виде стержня переменного сечения (рис. 2), высота h и погонная масса m которой изменяются по линейному закону

$$h = h_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right) \text{ и } m = m_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right),$$

где h_0 – высота сечения $x = 0$; m – по-

гонная масса однородной балки постоянной высоты h_0 .

Дополнительно на стержень действуют зависящие от положения элемен-

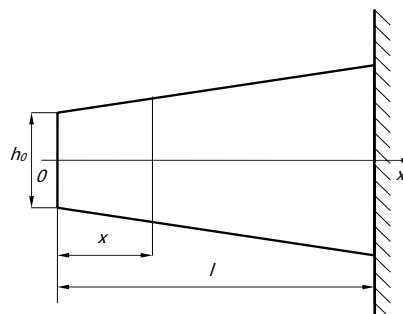


Рис. 2. Стержень переменного сечения, жестко закрепленный одним концом и свободный на другом конце

тов стержня и времени нагрузки: поперечная $f(x, t)$ и продольная $P(x, t)$.

При моделировании рассмотрены «малые» поперечные колебания, происходящие в одной плоскости, которые можно описать функцией от координаты и времени $y = y(x, t)$. При этом ось стержня в недеформированном состоянии прямолинейная и совпадает с линией центров тяжести поперечных сечений.

На основе вариационного принципа Остроградского-Гамильтона [3], была получена математическая модель поперечных колебаний стержня переменного сечения.

Кинетическая энергия стержня, осуществляющего колебательное движение, включает энергию сдвига элементов стержня и энергию вращения элементов стержня около осей, перпендикулярных к плоскости колебаний

$$K = \frac{1}{2} \int_0^l \left[m_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + J_0(x) \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t}\right)^2 \right] dx.$$

Потенциальная энергия состоит из энергии упругой деформации, энергии прогиба от поперечной нагрузки $f(x, t)$ и энергии растяжения вдоль продольной оси $P(x, t)$

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_0^l \left[EJ_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right)^3 \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)^2 - f(x, t)y - P(x, t) \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2 \right] dx,$$

где EJ – изгибная жесткость, E – модуль упругости, $J = J_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right)^3$ – момент инерции поперечного сечения стержня относительно нейтральной оси сечения, перпендикулярного плоскости колебаний, J_0 – момент инерции единицы длины стержня.

Действие по Остроградскому-Гамильтону $S = \int_{t_0}^{t_1} L dt$, где $L = K - \Pi$ – функция Лагранжа, имеет вид

$$S = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_1} \int_0^l \left[m_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right) \left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)^2 + J_0(x) \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x \partial t}\right)^2 - EJ_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right)^3 \left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)^2 + f(x, t)y + P(x, t) \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)^2 \right] dx dt.$$

Определив составляющие уравнения Эйлера-Лагранжа для данного функционала, получим искомое уравнение поперечных колебаний в виде

$$f(x, t) - 2m_0 \left(1 + \frac{x}{l}\right) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - 2 \frac{\partial P}{\partial x} \frac{\partial y}{\partial t} - 2P \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + 2J_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2 \partial t^2} - \frac{12EJ_0}{l^2} \times \times \left(1 + \frac{x}{l}\right) \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + l \left(1 + \frac{x}{l}\right) \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{l^2}{6} \left(1 + \frac{x}{l}\right)^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \right] = 0. \quad (1)$$

Данное уравнение составлено при самых общих допущениях относительно действующих на стержень сил, жесткости и распределения массы. Рассмотрим случай, когда $f(x, t) \equiv 0$ и $P(x, t) \equiv 0$. Тогда уравнение (1) запишем в виде

$$m_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + \frac{6EJ_0}{l^2} \left[\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + l \left(1 + \frac{x}{l}\right) \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{l^2}{6} \left(1 + \frac{x}{l}\right)^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \right] = 0.$$

или

$$\frac{l^2}{6} \left(1 + \frac{x}{l}\right)^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + l \left(1 + \frac{x}{l}\right) \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{m_0 l^2}{6EJ_0} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0.$$

Главное колебание, которое также является простейшим решением искомого уравнения, будем искать в виде

$$y(x, t) = \varphi(x) \sin(pt + \alpha),$$

где функция $\varphi(x)$ – собственная форма колебаний, каждой из которых для стержня соответствует определенное значение собственной частоты p . Учитывая функцию $y(x, t)$ и ее производные, уравнение поперечных колебаний представим в виде

$$l^2 \left(1 + \frac{x}{l}\right)^2 \varphi^{IV} + 6l \left(1 + \frac{x}{l}\right) \varphi''' + 6\varphi'' - k^4 \varphi = 0, \quad \text{где } k^4 = \frac{p^2 m_0 l^2}{6EJ_0}.$$

Как видим, данное уравнение имеет переменные коэффициенты. Для качественного анализа динамики исследуемого объекта необходимо аналитическое решение полученного дифференциального уравнения, которое было найдено с помощью методики перехода к уравнению с постоянными коэффициентами за счет введения определяющей функции $z = f(x) = 2l\sqrt{1+x/l}$ [4].

Согласно достаточным условиям данной методики, для решения в квад-

ратурах дифференциального уравнения четвертого порядка необходимо, чтобы коэффициенты исходного уравнения находились между собой в определенной зависимости:

$$\begin{aligned} a_1(t) &= \frac{C_1}{\sqrt[4]{C_0}} \sqrt[4]{a_0(t)} + \frac{3\dot{a}_0(t)}{2}; \\ a_2(t) &= \frac{C_2}{\sqrt{C_0}} \sqrt{a_0(t)} + \frac{3C_1}{4\sqrt[4]{C_0}} \frac{\dot{a}_0(t)}{\sqrt[4]{a_0(t)}}; \\ a_4(t) &= C_4 \\ a_3(t) &= \frac{C_3}{\sqrt[4]{C_0}} \sqrt[4]{a_0(t)} + \frac{C_2}{4\sqrt{C_0}} \frac{\dot{a}_0(t)}{\sqrt{a_0(t)}} - \\ &\quad - \frac{C_1}{8\sqrt[4]{C_0}} \frac{[\dot{a}_0(t)]^2}{a_0(t)\sqrt[4]{a_0(t)}} + \\ &\quad + \frac{C_1}{4\sqrt[4]{C_0}} \frac{\ddot{a}_0(t)}{\sqrt[4]{a_0(t)}} - \frac{5}{16} \frac{\ddot{a}_0(t)\dot{a}_0(t)}{a_0(t)} - \\ &\quad - \frac{10}{64} \frac{[\dot{a}_0(t)]^3}{a_0^2(t)} - \frac{5}{16} \frac{[\dot{a}_0(t)]^2}{a_0(t)} + \frac{\ddot{a}_0(t)}{4}. \end{aligned}$$

Поэтому постоянные коэффициенты примем в виде $C_0 = l^2$; $C_1 = 0$; $C_2 = 0$; $C_3 = 0$; $C_4 = k^4$.

Тогда вид соответствующего уравнения с постоянными коэффициентами будет следующий

$$\varphi^{IV}(z) - \frac{k^4}{l^2} \varphi(z) = 0.$$

При решении полученного уравнения воспользуемся функциями Крылова в виде

$$\begin{aligned} S(z) &= 0,5[ch(t(z-2l)) + \cos(t(z-2l))]; \\ T(z) &= 0,5[sh(t(z-2l)) + \sin(t(z-2l))]; \\ U(z) &= 0,5[ch(t(z-2l)) - \cos(t(z-2l))]; \\ V(z) &= 0,5[sh(t(z-2l)) - \sin(t(z-2l))]. \end{aligned}$$

При рассматриваемом случае заделки стержня, жестко закрепленного одним концом $x = l$ и свободного на другом конце $x = 0$, крайние условия имеют вид $\varphi''(z_0) = \varphi'''(z_0) = 0$, $\varphi(z_1) = \varphi'(z_1) = 0$.

Тогда интеграл, удовлетворяющий этим условиям на конце $x = 0$, имеет вид

$$\varphi(z) = K_1 S(t(z-2l)) + K_2 T(t(z-2l)).$$

Условия на конце $x = l$ выражаются уравнениями

$$\begin{cases} K_1 S(2tl(\sqrt{2}-1)) + K_2 T(2tl(\sqrt{2}-1)) = 0; \\ K_1 V(2tl(\sqrt{2}-1)) + K_2 S(2tl(\sqrt{2}-1)) = 0; \end{cases}$$

откуда следует, что $S^2 - VT = 0$ или

$$ch(2tl(\sqrt{2}-1)) \cdot \cos(2tl(\sqrt{2}-1)) + 1 = 0.$$

По таблицам [3] находим корни уравнения $2tl(\sqrt{2}-1) = 1,875; 4,694; \dots$

Тогда для первых двух собственных форм получаем формулы для определения собственных частот

$$p_1 = \frac{(1,875)^2}{4l^2(\sqrt{2}-1)^2} \sqrt{\frac{EJ_0}{m_0}};$$

$$p_2 = \frac{(4,694)^2}{4l^2(\sqrt{2}-1)^2} \sqrt{\frac{EJ_0}{m_0}}.$$

Следует заметить, что рассчитанные по формулам значения для низших частот хорошо согласуются со значениями, полученными приближенными методами. Так, расхождение с методом Ритца [3] составляет около 3,5%.

ВЫВОДЫ

Полученное в работе аналитическое решение может быть использовано для качественного исследования нестационарных процессов, происходящих при работе судового палубного оборудования, а именно буксирной лебедки.

Также найдено аналитическое выражение, позволяющее определить основную частоту поперечных колебаний, которое может быть использовано при проектировании привода подобного рода устройств. Используя предложенный метод решения, можно не только определять основные частоты колебаний, но и другие характеристики колебательного движения, в отличие от приближенных методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тё А. М. Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств. – Л., 2014. – 86 с.
2. Башуров Б. П., Скиба А. Н., Чебанов В. С. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов: учеб. пособ. – Новороссийск: МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2009. – 192 с.
3. Бабаков И. М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1976. – 592 с.
4. Ivanovskaya A. The research of the dynamic of the mechanical system with variable parameter // J. of Vibroengineering. – 2010. – Vol. 12. – Issue 4. – P. 494–499. ■

Ао недавнего времени рынок оборудования противопожарной защиты для объектов гражданского флота России был ориентирован преимущественно на изделия импортного производства. Данная тенденция была обусловлена следующими факторами:

- более низкой стоимостью зарубежной продукции по сравнению с отечественными аналогами;
- сроками поставок, удовлетворяющими заказчика с учетом сроков конечной готовности объекта флота;
- эргономикой и современным дизайном зарубежной продукции.

Однако после начала санкционной политики западных стран в отношении России зарубежные партнеры перестали соблюдать контрактные обязательства и начали массово отказываться от поставок судового оборудования на территорию Российской Федерации. Судостроительные корпорации в недопущение неисполнения своих обязанностей перед заказчиками обратили внимание на отечественный рынок, который оказался способным принять вызовы отрасли.

Одним из успешных примеров импортозамещения стала замена системы пожарной сигнализации британской корпорации Survitec Group, которая в 2019 г. решила приостановить поставки противопожарного оборудования на ряд российских судостроительных предприятий. В их числе оказался Балтийский завод с серией атомных ледоколов пр. 22220 типа «Арктика» (рис. 1).

В трудных условиях, связанных с пандемией Covid-19, Балтийскому заводу и ЦКБ «ОСК-Айсберг» пришлось оперативно проанализировать рынок отечественных систем пожаротушения. Опираясь на уже утвержденный бюджет, учитывая технические особенности объекта, важность заказа и невозможности срывов сроков его передачи основному заказчику, было оформлено техническое решение, начиная с заказа зав. № 05707 (УАЛ «Сибирь»), взамен системы пожарной сигнализации Survitec применить судовую систему пожарной сигнализации «Касатка», серийно выпускаемую Научно-производственной фирмой «Меридиан».

В централизованной структуре системы пожарной сигнализации Survitec (рис. 2) было предусмотрено подключение адресных устройств (извещателей) напрямую к трем центральным пожарным панелям, расположенным в ходовой рубке, центральном посту управления и рубке дежурного. К каждой пожарной панели подключалось до 500 адресных устройств. На крупных объектах указанное построение системы имеет ряд значительных недостатков. Во-первых, при отказе или повреждении одной из пожарных панелей треть противопо-

жарных зон объекта может остаться без системы пожарной сигнализации. Во-вторых, большая длина линий связи с удаленными адресными устройствами, находящимися в носовой части или корме, увеличивает вероятность повреждения кабеля, пролегающего по значительной части объекта.

Важным преимуществом применения системы «Касатка» стало то, что появилась возможность повысить живучесть объекта за счет использования распределенной структуры построения системы. Такая структура системы «Касатка» (рис. 3) характеризуется тем, что адресные устройства (извещатели, датчики) подключаются к приборам сбора информации, обслуживающим заданную противопожарную зону или отсек (ярус). Приборы соединяются в единую информационную сеть с центральным и двумя выносными приборами представления информации. При повреждении или возникновении неисправности на каком-либо участке системы, обслуживаемой соответствующим прибором сбора информации, пожарная сигнализация прекращает работу только в пределах зоны ответственности данного прибора. При этом сохраняется рабо-

тоспособность остального оборудования с непрерывной возможностью сообщения экипажу необходимой информации о противопожарной обстановке на объекте, а в случае возникновения пожара – о динамике и направлении его развития. Кроме того, приборный состав системы и принципы ее межприборной организации позволили проектанту расположить большинство кабельных соединений в пределах противопожарной зоны.

Серийно выпускаемая Научно-производственной фирмой «Меридиан» судовая система пожарной сигнализации «Касатка» позволяет организовать как распределенную, так и централизованную структуры системы и в общем случае имеет в своем составе (рис. 4):

1) приборы ПСИ, ЦПИ, ВПИ для построения распределенной структуры. Каждый прибор ПСИ может обслуживать свою противопожарную зону (отсек) и имеет свой собственный прибор электропитания, что обеспечивает полную автономность охраняемой зоны (отсека). Обработка данных от извещателей и датчиков и принятие решения о выдаче сигнала ПОЖАР выполняются прибором ПСИ самостоятельно. К прибору может быть подключено до 189 ад-

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ НА РЫНКЕ СИСТЕМ СУДОВОЙ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Н. С. Давыдов, инженер 2-й категории,

Ю. В. Беляев, вед. инженер, гл. конструктор системы «Касатка»,

В. Н. Грачев, гл. инженер,

АО «НПФ «Меридиан»,

контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 524, 524, 101



Рис. 1. Универсальный атомный ледокол «Арктика» – головное судно пр. 22220

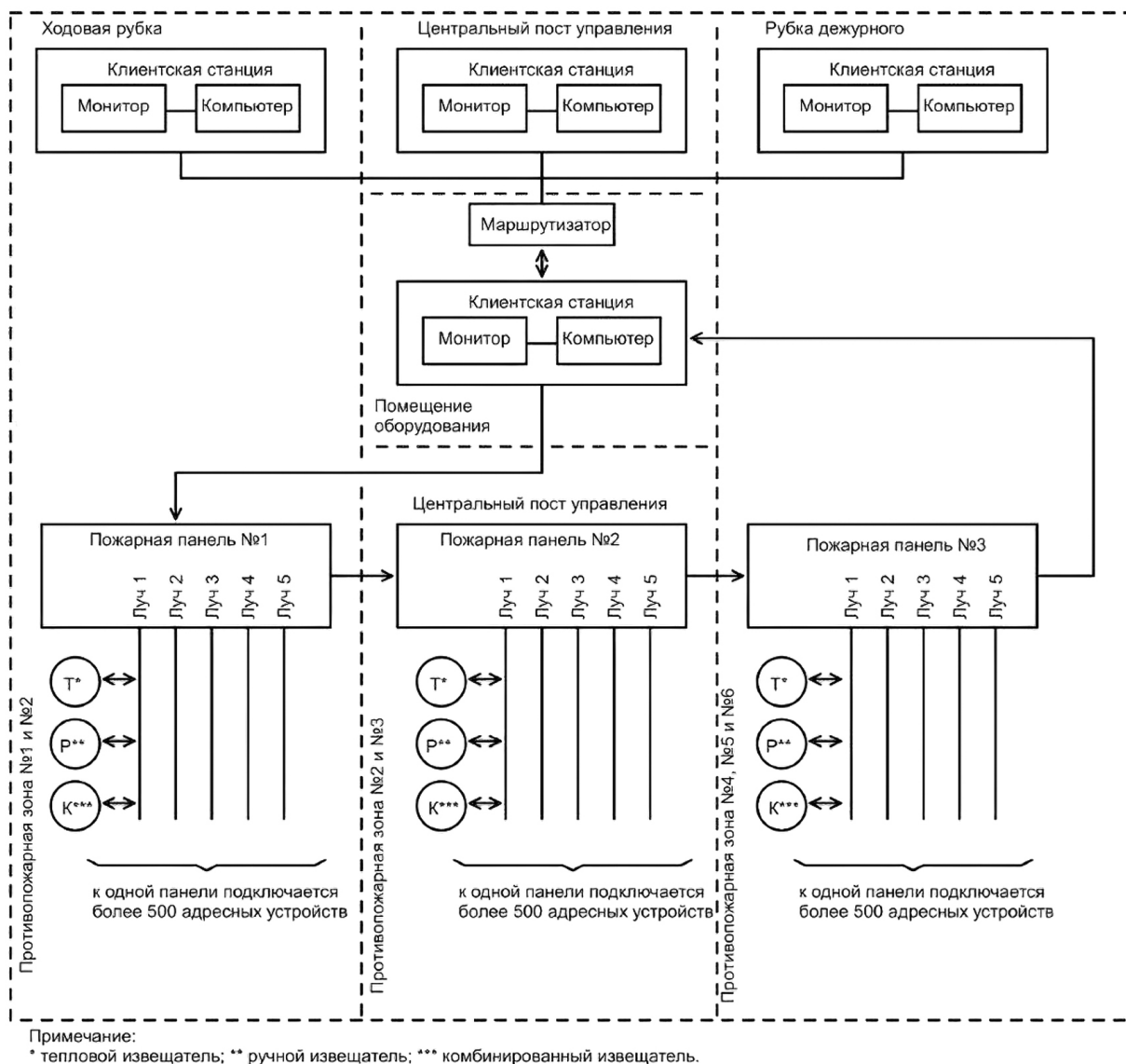


Рис. 2. Структурная схема системы Survitec для пр. 22220

ресных устройств (извещателей, датчиков) (3 луча по 63 адресных устройства).

Приборы ПСИ соединяются в единую информационную линию с приборами ЦПИ и ВПИ. Информация по всему объекту, собранная по данным от разных приборов ПСИ, отображается на встроенных дисплеях приборов ЦПИ и ВПИ. Ведущим опроса является прибор ЦПИ, однако при его отказе или повреждении функции ведущего может взять на себя один из приборов ВПИ (по соответствующей команде оператора), и система продолжит функционировать. Адресные устройства соединяются с прибором ПСИ посредством кольцевого подключения, что обеспечивает работоспособность при повреждении линии связи. Приборы ЦПИ, ВПИ и ПСИ соединяются односторонним подключением, но линия связи между приборами дублируется (основная и резервная).

Поскольку все источники электропитания приборов ПСИ, ЦПИ, ВПИ имеют встроенные аккумуляторы, ра-

бота системы при его пропадании продолжится в течение не менее 30 минут.

2) прибор ЦП для построения централизованной структуры. К нему может быть подключено до 1008 адресных устройств (16 лучей по 63 адресных устройствам).

Вне зависимости от структуры система имеет в своем составе следующие адресные устройства: извещатели тепла, дыма, пламени, извещатели контроля газовой среды на угарный, углекислый газ, метан, извещатели ручного извещения, приборы управления и контроля состояния противопожарных дверей.

Поскольку система пожарной сигнализации «Касатка» является адресно-аналоговой, т. е. контролирует текущее значение параметра в месте установки датчика, вне зависимости от структуры системы можно реализовать алгоритм раннего обнаружения пожара по многокритериальному принципу, т. е. система имеет возможность выдачи сигнала предупреждения, если в охраняемом поме-

щении обнаружены несколько факторов, сопутствующих пожару, но уставки срабатывания по сигналу ПОЖАР при этом не были превышены. Для реализации данной задачи необходимо определение требований к пониженным порогам срабатывания при использовании информации от двух и более адресных устройств. При этом возможна реализация алгоритма перенастройки системы под текущие условия ее эксплуатации с установлением пониженных порогов срабатывания в зависимости от этих самих текущих условий. В помещениях различного типа и с различной энергетической насыщенностью могут быть установлены отличные друг от друга пониженные пороги срабатывания при использовании многокритериального принципа обнаружения пожара.

Система позволяет в автоматическом режиме управлять противопожарными дверьми и средствами светового и звукового оповещения по заданному проектантом объекта алгоритму (по противопожарным зонам, отсекам).

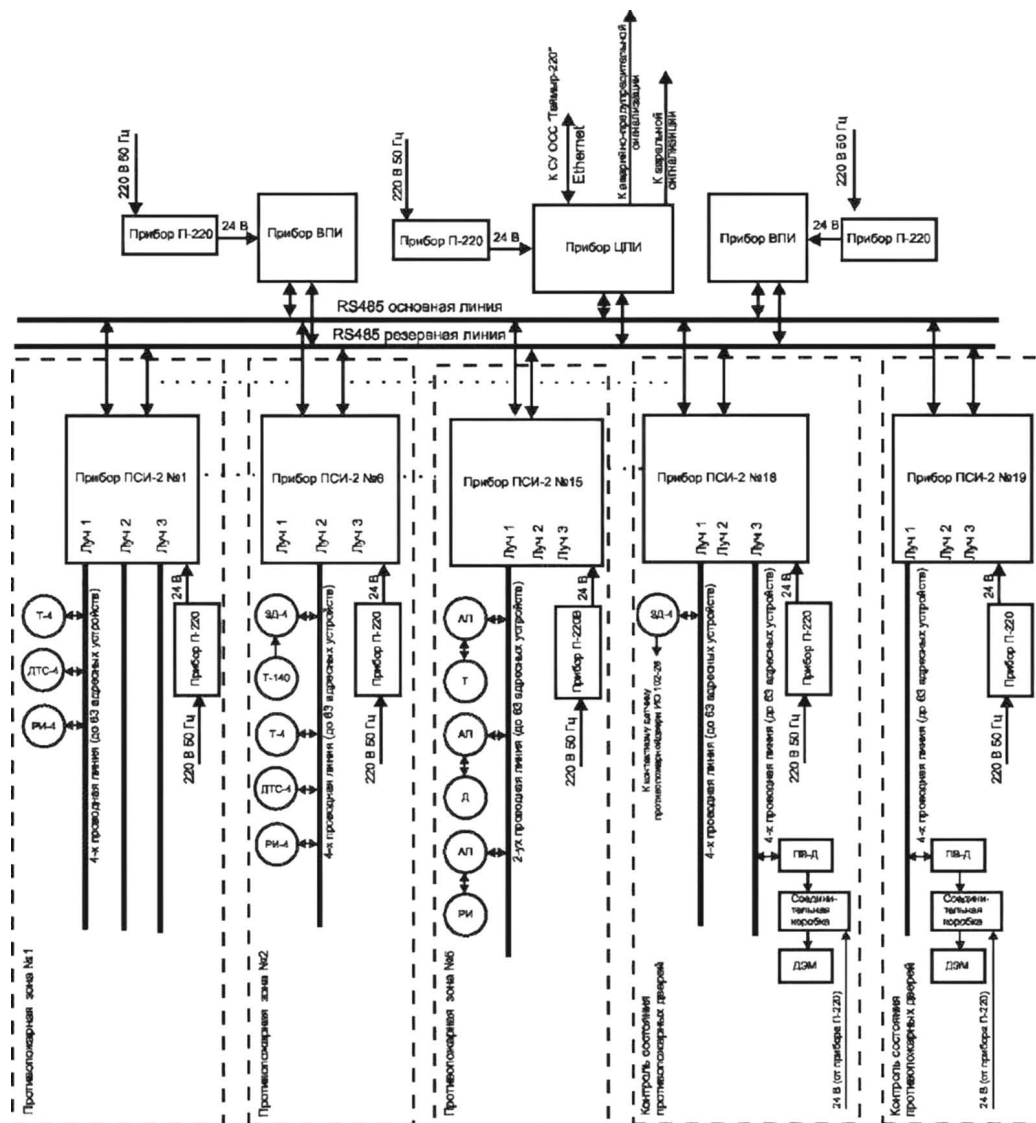


Рис. 3. Структурная схема системы «Касатка» для пр. 22220



Рис. 4. Прибор ЦПИ, извещатель Т-4, извещатель ДТС-4, извещатель СО

Аппаратные возможности системы позволяют оказывать информационную поддержку экипажу и аварийным партиям, сообщая о расположении штатных средств тушения, состоянии

систем вентиляции, насосов, а также прогнозировать дальнейшее распространение пожара с указаниями наиболее опасных направлений развития пожара.

В течение уже полувека одним из направлений деятельности Научно-производственной фирмы «Меридиан» является создание высокоэффективных корабельных и судовых систем, обеспечивающих раннее обнаружение пожара и надежное управление средствами пожаротушения. Систематически оценивая опыт зарубежных и отечественных разработок по тематике систем судовой пожарной сигнализации и постоянно поддерживая профессиональные контакты с ведущими представителями профильных научно-исследовательских и научно-промышленных организаций судостроительной отрасли, предприятие сумело добиться высоких результатов внедрения своих наработок в конструкцию судовой системы пожарной сигнализации «Касатка», что позволяет в разумные для сегодняшних реалий сроки обеспечить заказчика надежным изделием, отвечающим всем современным техническим вызовам. ■

Государственная программа вооружения (ГПВ) на 2018 – 2027 гг., утвержденная в конце 2017 г., определила приоритеты России в области перевооружения на последующие десять лет. Ключевой вывод из анализа государственных программ вооружения заключается в том, что российский ВМФ, невзирая на определенные проблемы, в том числе проблему недофинансирования, продолжает обновление своего боевого состава. Наблюдается стремление к увеличению размеров уже созданных небольших кораблей с целью увеличения их боеспособности [1].

В то же время, несмотря на определенный оптимизм в развитии отечественного ВМФ, вопросы качества разработки и изготовления комплексов вооружения и корабельного оборудования для строящихся и находящихся в эксплуатации кораблей, а также задачи отечественной промышленности по разработке и внедрению современных импортозаменяющих лакокрасочных материалов и покрытий для использования в кораблестроении и судоремонте вызывают серьезную обеспокоенность Министерства обороны и в частности ВМФ.

Следует отметить, что Министерство обороны уделяет огромное внимание обеспечению комфортных условий жизнедеятельности экипажей кораблей (судов) и подводных лодок. Проведенный анализ используемой для нужд на них мебели показывает, что для ее изготовления применяются устаревшие технологии и материалы. Мебель не отвечает современным требованиям к горючести, надежности, долговечности, эргономичности и эстетическому восприятию [2].

В ответ на реакцию Министерства обороны на рынок вышло множество малых и средних предприятий, предлагающих собственные разработки и инновационные технические решения в этой

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ НЕГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЖИВУЧЕСТЬ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

П.А. Зубков, канд. техн. наук,

ген. директор ООО «Морские комплексные системы»,

К.А. Ефремов, канд. техн. наук,

преподаватель ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,

контакт. тел. (812) 494 9435

области. Среди них следует выделить компанию ООО «Морские комплексные системы» («МКС»), работы которой направлены на создание и внедрение в судостроении негорючих материалов для зашивок, выгородок, переборок, для изготовления мебели, которые не выделяют ядовитых веществ, так как при пожарах часто люди погибают не от огня, а от отравления угарным газом и другими продуктами горения.

Несмотря на проделанную работу, остается актуальной научная задача обеспечения пожарной безопасности перспективных кораблей и судов, которая носит комплексный характер, и для ее решения стоит более подробно рассмотреть вопросы тепловой изоляции конструкций корпуса корабля и эффективности в обеспечении его взрывопожаробезопасности.

В кораблестроении теплоизоляционные материалы (далее – ТИМ) имеют важное технологическое значение, позволяя в ряде случаев уменьшить толщину конструктивных элементов. Кроме того, эти материалы обладают и звуко-

изолирующими свойствами, что также имеет немаловажное значение.

Ассортимент имеющихся в настоящее время на рынке утеплителей достаточно широк – от пенопластов до материалов на основе минеральной ваты с использованием полимерных и неорганических связующих.

Все теплоизоляционные материалы и изделия из них могут быть классифицированы по нескольким признакам, указанным на рис. 1 [3].

По горючести ТИМ подразделяют на три группы [4]:

- негорючие (несгораемые), неспособные к горению в воздухе;
- трудногорючие (трудносгораемые), способные возгораться в воздухе от источника возгорания, но не способные самостоятельно гореть после его удаления;
- горючие (сгораемые), способные самовозгораться, а также возгораться от источника возгорания и самостоятельно гореть после его удаления.

Наиболее предпочтительными теплоизоляционными материалами для фор-

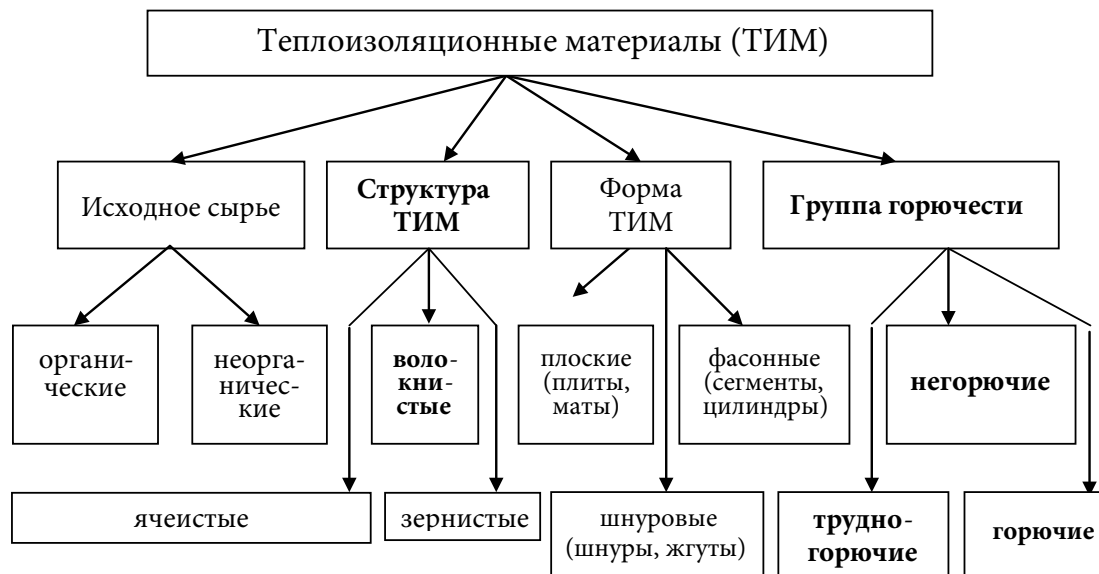


Рис. 1. Классификация теплоизоляционных материалов

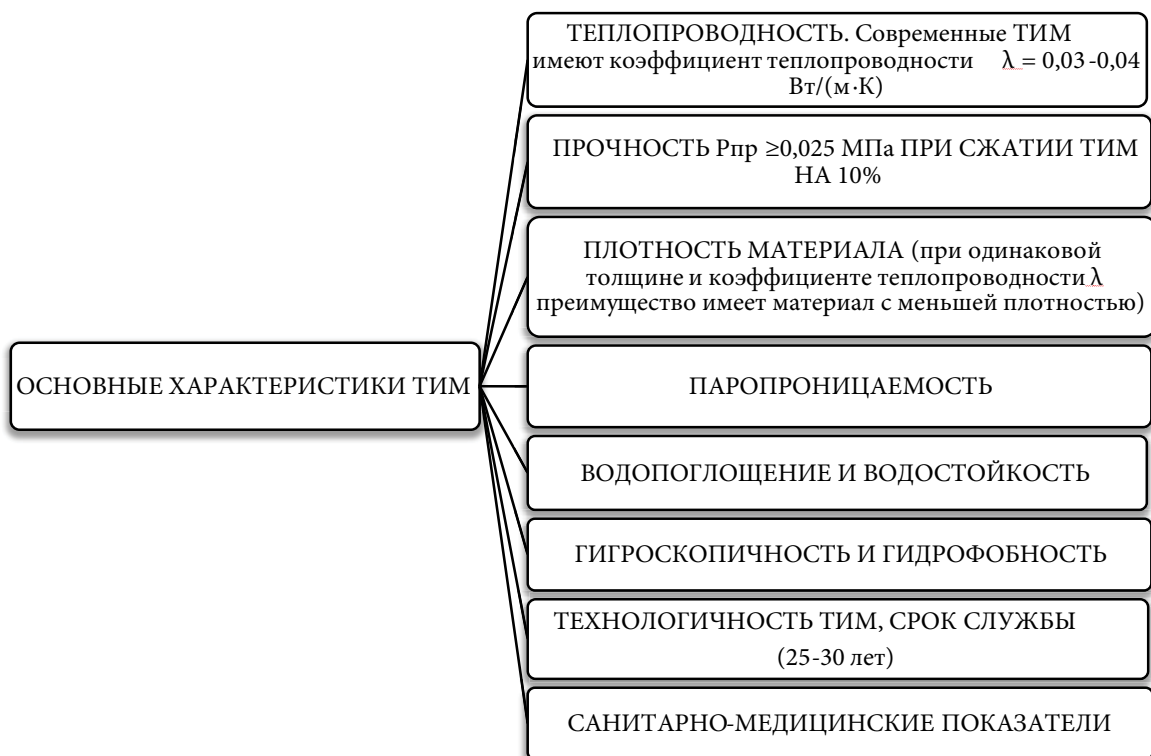


Рис. 2. Основные характеристики теплоизоляционных материалов

мирования корабельных теплоизоляционных и противопожарных конструкций являются волокнистые материалы. Самыми распространенным из них в качестве термоогнезащитного материала с предельной температурой воздействия до 600 – 700 °С является минеральная вата. При более высоких температурах наблюдается спекание волокон минеральной ваты, что уже представляет опасность для корабельных конструкций. По этой причине ООО «МКС» широко использует базальтовое волокно, которое получают из расплава горных базальтовых пород при температуре около 1500 °С.

Кроме теплопроводности, существует ряд не менее важных характеристик, основные из них представлены на рис. 2.

Таким образом, из проведенного анализа следует, что при проектировании

кораблей необходимо учитывать все основные характеристики ТИМ, однако изменение их теплопроводности при увеличении или уменьшении рабочей температуры изоляционной конструкции либо при изменении климатических условий эксплуатации корабля не учитывается. Кроме того, важно оценивать возможное ухудшение характеристик ТИМ с течением времени срока службы кораблей. Пренебрежение указанными факторами может привести к нерасчетным условиям работы систем вентиляции воздуха, что, в свою очередь, может привести к снижению взрывопожаробезопасности помещений.

Вопрос о стабильности характеристик ТИМ в течение всего срока службы кораблей в настоящее время недостаточно изучен и требует проведения

дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

В целом можно отметить, что проблема существует и обсуждается во многих научно-технических изданиях и статьях [5]. Среди всех факторов, влияющих на изменение характеристик ТИМ в процессе эксплуатации, можно выделить основные, которые могут быть отнесены к факторам, оказывающим определяющее воздействие на тепловую изоляцию надводных кораблей (рис. 3).

Суть проблем состоит в том, что параметры ТИМ в конструкциях под воздействием различных факторов являются переменными во времени и могут существенно отличаться от соответствующих значений, полученных в процессе лабораторных испытаний. Очевидно, что при имитации климатических ус-

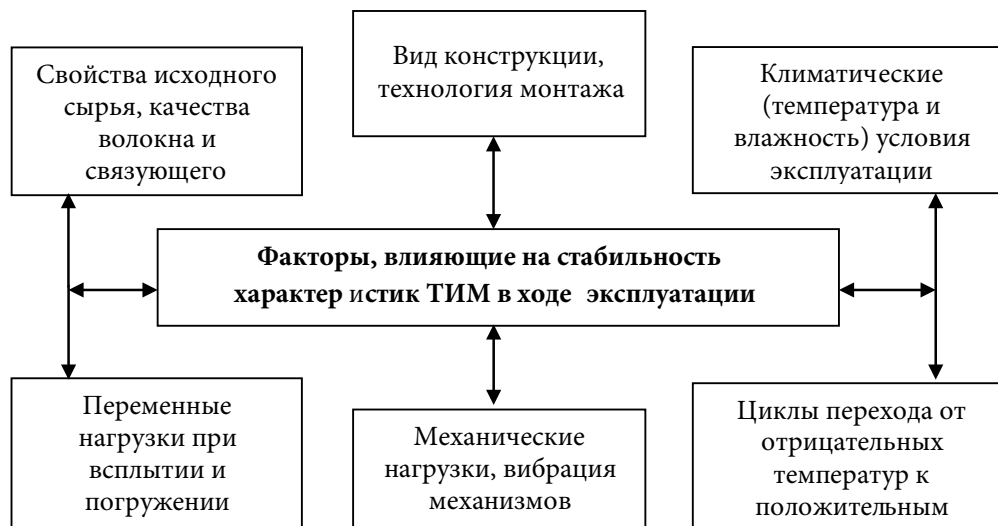


Рис. 3. Факторы, влияющие на стабильность характеристик ТИМ при их эксплуатации в корабельных условиях

ловий в лабораториях никогда не удаётся достичь реальных условий эксплуатации изделий в составе корабельных конструкций [6]. Так, при искусственном увлажнении материалов в лабораторных условиях практически трудно разрешимой проблемой является обеспечение и контроль равномерного распределения влаги в испытуемом образце [7]. В результате расчетные значения влажности материала в конструкции целесообразно определять методом экспертной оценки на основании статистической обработки данных натурных наблюдений по расчетной формуле

$$\lambda_{\text{эк}} = \lambda_c \cdot \left(1 + \frac{\omega_m}{100} \cdot \Delta\lambda\right), \quad (1)$$

где λ_c – коэффициент теплопроводности сухого (или в соответствии с техническими условиями) материала, Вт/м·°С; ω_m – влажность материала по массе, %; $\Delta\lambda$ – увеличение коэффициента теплопроводности материала при изменении его влажности на 1% по массе.

В трудах Ю.Л. Боброва [8] в качестве главного эксплуатационного показателя, характеризующего эксплуатационные свойства ТИМ в ограждающих конструкциях, приняты предел прочности материала на растяжение и на сжатие. Характер изменения начальной прочности ТИМ при их эксплуатации описывается следующим уравнением [9]:

$$\sigma_\tau = (\sigma_0 \cdot \sigma_c) \cdot e^{-\zeta\tau + \sigma_s}, \quad (2)$$

где σ_τ – текущее значение прочности материала, н/м²; σ_0 – начальная прочность материала, н/м²; σ_c – значение прочности материала на стадии практического разрушения, н/м²; ζ – показатель, характеризующий комплексное влияние эксплуатационных факторов на снижение физико-механических и теплозащитных свойств тепловой изоляции с течением времени; τ – момент времени, на который определяется текущее значение прочности материала, годы.

После преобразований и упрощений уравнение (2) приводится к виду

$$\tau = \ln(\sigma_0/\sigma_\tau) \cdot \zeta_p, \quad (3)$$

где ζ_p – расчетный коэффициент, характеризующий комплексное влияние эксплуатационных факторов на изменение во времени прочности тепловой изоляции и ее теплозащитных качеств. Он определяется эмпирическими параметрами

$$\zeta_p = \frac{K_b/K_c}{K_\tau}, \quad (4)$$

где K_b – критерий сравнительной стойкости волокон; K_c – критерий сравнительной стойкости связующего вещества; K_τ – критерий защиты слоя изоляции.

Численные значения критериев получены опытным путем и приведены в зависимости от различных факторов в работе

[9], где все факторы и критерии относятся к промышленным и жилым зданиям.

На основании экспериментальных данных в работах научно-исследовательском, технологическом и испытательном центре АО «ПО «Севмаш» были сформулированы предложения по определению расчетных значений коэффициента теплопроводности изоляции. Выражение для коэффициента теплопроводности ТИМ при эксплуатации в составе конструкции представляется экспоненциальной зависимостью

$$\lambda_\tau = \lambda_0 \cdot \exp(K\tau), \quad (5)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала в начале эксплуатации, Вт/м·°С; λ_τ – коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала через τ лет эксплуатации, Вт/м·°С; K – константа работоспособности, 1/год.

С достаточной для практических целей точностью методика [10] рекомендует конкретные значения константы работоспособности, характеризующие динамику снижения теплоизоляционных свойств ТИМ, используемых в типовых помещениях на объектах различного назначения.

Для анализа характеристик ТИМ было подготовлено специальное техническое задание [11], где предусматривалось определение коэффициента теплопроводности образцов в состоянии естественной влажности и в сухом состоянии. Испытания проводились в соответствии с положениями руководящего документа [12].

Для получения корректных результатов образцы доставлялись в г. Северодвинск в герметичной таре, которые помещались в отдельную герметичную упаковку. Результаты лабораторных испытаний оформлены протоколом [13] (рис. 4).

Анализ результатов показывает, что образцы минеральной ваты, бывшие в эксплуатации, имеют худший коэффициент теплопроводности, чем при выпуске с завода-изготовителя. Так, согласно ГОСТ 22950–95, плиты марки ППЖ, установленные на рассмотренных судах (см. рис. 4), должны были иметь коэффициент теплопроводности $\lambda_0 = 0,0463$ Вт/м·°С.

Одновременно было проверена возможность использования расчетной формулы (5) для оценки на этапе проектирования свойств тепловой изоляции корпуса корабля. С этой целью в методике [10] принято значение константы работоспособности волокнистых материалов, примерно соответствующее условиям эксплуатации на кораблях и судах. Результаты расчета в графической форме представлены на рис. 4, где принято, что первоначальный коэффициент теплопроводности соответствует ГОСТ, а именно $\lambda_0 = 0,0463$ Вт/м·°С. Такое же значение коэффициента теплопроводности указывается в технических условиях для теплоизоляционного материала ПТЭ-150 (см. кривую на рис. 4 с пометой «По методике»). Она построена в соответствии с вычислениями по формуле (5). Значение константы работоспособности при этом составляет $K = 1,35 \cdot 10^{-2}$, 1/год.

На этом же рисунке условными знаками показаны значения коэффициентов теплопроводности, полученные при проведении лабораторных испытаний образцов изоляции, снятых с кораблей. Зависимость, полученная по результатам обработки опытных данных, обозначена как «Эксперимент».

По результатам анализа выполненных экспериментов для проектирования корабельных теплоизоляционных конструкций может быть рекомендовано исполь-

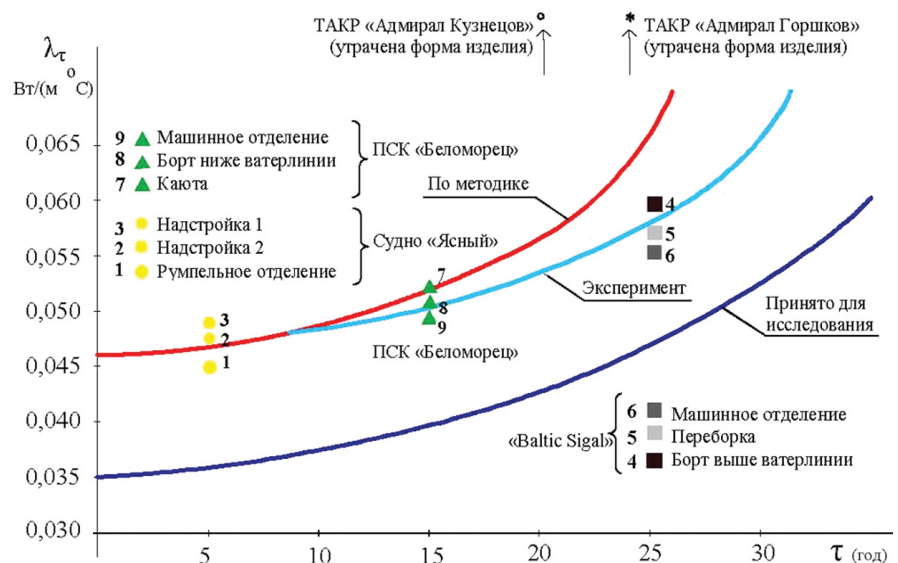


Рис. 4. Результаты экспериментального определения коэффициента тепловой изоляции, бывшей в эксплуатации на кораблях

зование формулы (5). Константу работоспособности в ней следует принимать в диапазоне $K = (1,25 - 1,35) \cdot 10^{-2}$, 1/год.

Также необходимо отметить, что во время эксплуатации кораблей происходит изменения средней рабочей температуры изоляции, что необходимо учитывать при проектировании теплоизоляционной конструкции [5]. Пренебрежение указанным фактором может привести к несоответствию между тепловой нагрузкой на холодильные установки и их холодопроизводительностью.

В связи с вышеизложенным при выполнении работы были проведены лабораторные проверки теплоизоляционного материала «Rockwool» [13]. Испытания также проводились в испытательном центре ОАО «Севмаш», для чего было выдано техническое задание [14]. Предусматривалось определение коэффициента теплопроводности ТИМ в диапазоне рабочих температур от 0°C до 40°C для номенклатуры материалов с плотностью от 45 до 150 кг/м³. Результаты испытаний оформлены протоколом [14].

В научно-технической литературе отмечается, что коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала $\lambda_{\text{ит}}$ есть линейная функция средней температуры изоляции $t_{\text{иср}}$ и выражается зависимостью

$$\lambda_{\text{ит}} = \lambda_{\text{но}} + b \cdot t_{\text{иср}}, \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}; \quad (6)$$

где $\lambda_{\text{но}}$ – коэффициент теплопроводности материала при 0°C, Вт/м·°C; b – постоянная для данного материала (с учетом его плотности), показывающая приращение коэффициента теплопроводности при повышении температуры на один градус, Вт/м·(°C)².

Конечной целью испытаний было определение постоянной b . Коэффициенты теплопроводности материалов с различной плотностью в зависимости от температуры, полученные на лабораторных испытаниях, представлены на рис. 5.

Постоянная величина b оказалась приблизительно равной 0,008 Вт/м·(°C)² практически для всех видов материала «Rockwool» с различной плотностью, она и была использована в работе для расчетов. При их выполнении нужно помнить, что данная константа может применяться только для материала, который проходил проверку. Для другого материала она может быть иной. В связи с этим необходимо включение в технические условия на теплоизоляционные материалы для кораблей ВМФ значения величины b на основе графической информации рис. 5. В любом случае ее надо учитывать при принятии решения о выборе теплоизоляционных материалов.

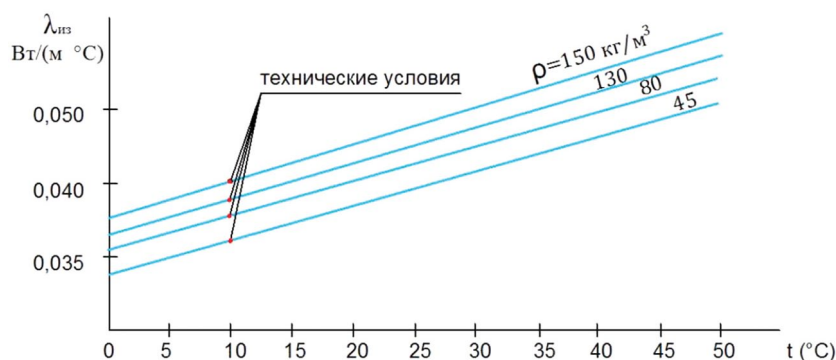


Рис. 5. Результаты лабораторного анализа коэффициента теплопроводности ТИМ «Rockwool» в зависимости от температуры образцов

Таким образом, анализ предлагаемых инновационных негорючих теплоизоляционных и подобных материалов, уже используемых на кораблях ВМФ, и их характеристик показал следующее:

1. Для кораблей ВМФ приоритетным является применение неорганических теплоизоляционных материалов из *базальтового волокна*, которые обладают приемлемой долговечностью и стабильностью теплотехнических и физических характеристик при воздействии высоких температур и в период предполагаемого срока эксплуатации кораблей.

2. В руководящих документах ВМФ по проектированию кораблей отсутствуют требования к применению теплоизоляционных материалов и конструкций на их основе. В технических условиях на поставку теплоизоляционных материалов для нужд ВМФ должны указываться информация о сроке службы изделий, а также другие характеристики, которые влияют на живучесть и могут изменяться в течение срока службы корабля.

3. С целью недопущения потери свойств теплоизоляции при ее использовании на кораблях необходимо предусматривать дополнительные конструктивные меры обеспечения живучести, например, защиту ТИМ от увлажнения путем нанесения паро- и гидроизоляционных покрытий.

4. Применение новых ТИМ, предлагаемых ООО «МКС», в достаточной степени может усилить конструктивную составляющую обеспечения живучести корабля, что способно в дальнейшем облегчить экипажу ведение борьбы за живучесть.

5. Для количественной оценки влияния применения различных ТИМ на живучесть корабля необходимо выполнить расчет теплоизоляционных конструкций, для чего потребуются выбрать расчетную схему и модель исследования. В целом поставленная задача по определению эффективности тепловой изоляции за период эксплуатации корабля в течение всего срока службы и ее влияние на

живучесть корабля требует разработки аналитической физико-математической модели исследования, о которой будет написано в следующих статьях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол заседания совета Коллегии военно-промышленной комиссии РФ по кораблестроению 16.12.2014 г. № ВПК (С-8)-14(9), Санкт-Петербург.
2. Пути повышения взрывопожарозащитности перспективных надводных кораблей ВМФ // Отчет о НИР шифр «Сварог-НК» / НИИ К и В ВМФ. – СПб., 2018.
3. Производство теплоизоляционных материалов. – М., НПО «Полиспаст», 200.
4. Пожароопасность веществ и материалов средства их тушения: Справ. под ред. А.Н.Баратова. – М.: Химия, 1990.
5. Hans Bjorn Paulsrud. Insulation north of the Arctic Circle. – NIA. Insulation Outlook, 2008, November.
6. Шойхет Б.М., Старицкая Л.В. О расчетных характеристиках теплоизоляционных материалов// Энергосбережение. – 2003.– №1.
7. Методика оценки влажности на эффективность теплоизоляции оборудования и трубопроводов. – М.: НИЦ ОАО «Теплопроект», 2004.
8. Бобров Ю.Л. Исследование и прогнозирование эксплуатационных свойств минераловатной тепловой изоляции. – М.: ЦМИПКС, 1990.
9. Теплоизоляционные материалы на основе минеральной ваты. Сборник под редакцией А.Ю. Ланга. – Вильнюс, 1985.
10. Техническое задание на лабораторные испытания. Определение коэффициента теплопроводности и влажности образцов теплоизоляционных материалов ЗАО «МорНефтеГазИнжиниринг» № 12 от 7.02.2011 г.
12. Протокол испытаний № 25.10/02 НИТИЦ ОАО «Севмаш», 2011.
13. Протокол № П2005-11430/326 технического совещания по применению изоляционных материалов «Rockwool» для изоляции корпусных конструкций и трубопроводов на корабле проекта 11430.
14. Протокол испытаний № 25.10/10 от 03.05. 11. НИТИЦ ОАО «Севмаш», 2011. ■

На сегодняшний день литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) считаются одними из основных источников энергии, поскольку их конструкция обеспечивает более высокую эффективность и надежность [1]. В подводных условиях их применяли на беспилотных подводных аппаратах (БПА), торпедных и подводных лодках (ПА).

Однако элементы питания на основе лития могут взрываться или загораться при повреждении или неправильном использовании, что ведет к большим потерям, убыткам и жертвам, к тому же сегодня литий становится все более дефицитным, и, как следствие, дорогим.

Команда Массачусетского технологического института во главе с профессором Дональдом Садовым приступила к разработке батареи нового типа из доступных и недорогих материалов. В ней в качестве двух электродных материалов используются алюминий и сера, а между ними находится электролит из расплавленной соли (рис. 1).

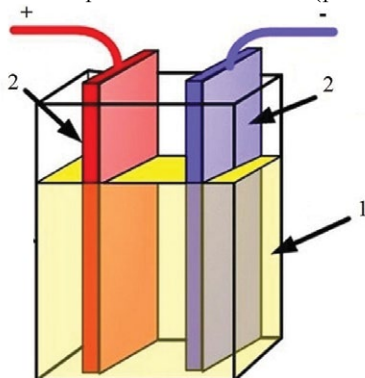


Рис. 1. Устройство батареи
1 – электролит (раствор соли);
2 – электроды (алюминий и сера)

Такие батареи из алюминия, серы и соли являются потенциальной заменой ЛИА в качестве основного источника электроэнергии для подводного и надводного применения.

Одной из самых больших проблем с надежностью других батарей является образование дендритов, представляющие собой узкие металлические шипы, которые накапливаются на одном из электродов и в конечном итоге перерастают в контакт с другим электродом, вызывая короткое замыкание. Выбранный исследователями раствор соли предотвращает это, что подтверждено исследователями эксперименты подтвердили [2].

Все эти материалы не только дешевы (элементы стоят в шесть раз дешевле, чем литий-ионные элементы аналогичного размера) и распространены, но и не воспламеняются, поэтому нет риска возгорания или взрыва, что крайне важно для их использования [2]. Данные аккумуляторы выдержи-

вают сотни циклов зарядки, причем заряжаются очень быстро – в некоторых экспериментах меньше минуты. Исследования показали, что скорость зарядки сильно зависит от рабочей температуры: при 110 °С скорость зарядки в 25 раз выше, чем при 25 °С. Также они могут работать при высоких температурах до 200 °С.

Важно отметить, что, по словам американских специалистов, батарея не нуждается во внешнем источнике тепла для поддержания рабочей температуры – оно вырабатывается естественным электрохимическим путем при зарядке и разрядке батарей. Зарядная емкость данных батарей – несколько десятков ампер-часов [3].

Новые аккумуляторы из алюминия, серы и соли обладают важными свойствами, такими, как дешевизна, огнеупорность, пригодность для повторного использования, перезарядки. Если такие батареи поступят на рынок, то можно будет их применять на судах и подводных лодках и аппаратах, а также в других отраслях. К примеру, автономность автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) «Gavia» составляет 6 часов, время подзарядки аккумуляторной батареи – 8 часов. При использовании новой батареи время зарядки уменьшится, время работы увеличится, а стоимость данного АНПА уменьшится [4].

Автономность беспилотного катера «Искатель» (рис. 2) составляет 7 суток, а скорость достигает 35 уз. На него мож-



Рис. 2. Беспилотный катер «Искатель»

но устанавливать различные системы поражения и ведения огня: установки запуска неуправляемых ракет, торпедные аппараты и пулеметы. При использовании новой батареи катер может повысить свою автономность, что весьма актуально и перспективно [5].

Новая прорывная технология может существенно изменить различные отрасли промышленности, включая производство бытовой электроники, энергетику, нефтегазовую отрасль, транспорт и морское судоходство. Новые батареи из алюминия, серы и соли потенциально могут стать одними из лучших источников энергии для торпед, подводных аппаратов, БПА, беспилотных судов и другой техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный источник: <https://store.globaldata.com/report/lithium-ion-batteries-for-underwater-applications-thematic-research/>, дата обращения 06.09.2022 г.
2. Электронный источник: <https://news.mit.edu/2022/aluminum-sulfur-battery-0824>, дата обращения 06.09.2022 г.
3. Электронный источник: <https://www.nature.com/articles/s41586-022-04983-9>, дата обращения 06.09.2022 г.
4. Цариченко С. С. АНПА GAVIA – подводный исследователь // Гидротехника. – 2011. – № 2 (22).
5. Электронный источник: <https://mvf.su/top-9-morskih-boevyh-bespilotnikov-samy-e-silnye-bespilotnye-korabli-v-mire/>, дата обращения 06.09.2022 г.

Известен способ получения водорода путем конверсии углеводородов, в частности дизельного топлива [1], для дальнейшего использования в топливных элементах электрохимических генераторов морских подводных объектов (МПО). Однако в этом технологическом процессе в состав конверсионного газа попадает двуокись углерода, негативно влияющая на работу электродов топливных элементов. В статье [2] рассмотрены принципиальные схемы систем очистки водорода от углекислого газа в воздухо-независимых энергетических установках (ВНЭУ) морских подводных объектов. В состав блока предварительной очистки конверсионного газа входят абсорберы, в которых происходит процесс растворения двуокиси углерода в заборной воде.

Настоящая статья посвящена разработке цифрового двойника абсорбера в составе системы очистки конверсионного газа. В России в 2017 г. принята программа [3], направленная на внедрение цифровых технологий в различных промышленных сферах. Совокупность виртуальных моделей физического объекта, которые в точности воспроизводят характеристики и процессы реального объекта, и составляют основу цифрового двойника. Он служит посредником между физическим изделием и важной информацией о нем и наиболее ценен при точном и своевременном отображении реального состояния рабочих характеристик физического прообраза. Разработка элементов цифровых двойников на реальных объектах морского флота позволит определить диапазон необходимых входных данных и сформировать требования к системам автоматического регулирования энергетических установок.

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ДВУХФАЗНОЙ СМЕСИ В ОБЪЕМЕ АБСОРБЕРА

Простейший абсорбер для удаления углекислого газа из смеси схематично представлен на рис. 1. На вход абсорбера сверху подается смесь заборной воды, частично насыщенной углекислым газом и пузырьки, заполненные конверсионным газом. В объеме абсорбера реализуется барботажный режим движения двухфазной смеси, когда при относительно низких скоростях пузырьки поднимаются независимо друг от друга в близком контакте.

Характеристиками барботажного режима движения являются скорость подъема газовых пузырьков, удельная поверхность контакта фаз, объемное газосодержание, средний диаметр пузырька. Перечисленные характеристики определяют гидродинамику и массопередачу в объеме абсорбера.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА АБСОРБЕРА В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ КОНВЕРСИОННОГО ГАЗА

А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав кафедрой,

Н.П. Малых, канд. техн. наук, доцент,

К.В. Долгий, аспирант, СПбГМТУ,

контакт. тел. +7(911) 299 9736, +7(921) 384 0283, +7(911) 785 3828

Теоретической основой математического описания процессов переноса в двухфазных средах являются фундаментальные законы сохранения и равновесия. Известны несколько подходов к описанию закономерностей движения двухфазных сред [4], например,

- гомогенного течения;
- модель раздельного течения;
- модель потока дрейфа.

Можно также предположить, что в объеме абсорбера формируется двухфазная смесь, которая по своей структуре может быть классифицирована как газовая эмульсия. Основными характеристиками такой эмульсии являются газосодержание, дисперсный состав (распределение пузырьков газовой фазы по размерам и объемам) и химический состав газовой фазы.

Структура и характер распределения фаз в газовой эмульсии оказывают существенное влияние на особенности протекания процессов взаимодействия между фазами. Особенности структуры двухфазного потока влияют на такие его характеристики, как гидродинамические

потери давления, потери энергии из-за механического взаимодействия фаз. Кроме того, распространения возмущений в двухфазном потоке также определяются его структурой.

Даже при малых расходах сред распределение пузырьков неравномерное, причем диаметр образующихся пузырьков не стабилен и характеризуется большим разбросом размеров. В процессе подъема возможно дробление и слияние пузырьков, причем могут образовываться отдельные комплексы пузырьков, поднимающиеся со скоростью, существенно превышающей скорость свободного всплытия отдельных пузырьков [5].

Применительно к процессам, имеющим место в объеме абсорбера, необходимо обеспечить развитую турбулентность за счет всплывающих пузырьков, чтобы критерий Рейнольдса был выше 800. Однако следует помнить, что при критериях Рейнольдса более 200 пузырек теряет сферическую форму и принимает форму сплюсненного эллипсоида, короткая ось которого расположена в направлении движения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СМЕСИ В ОБЪЕМЕ АБСОРБЕРА

Для начала определим коэффициент распределения, или константу фазового равновесия, при постоянной температуре и давлении

$$m = \frac{E}{P} = \frac{3,45 \times 10^8}{P}, \quad (1)$$

где $E = 3,45 \cdot 10^8$ Па – постоянная Генри; P – абсолютное давление в абсорбере, Па.

Конверсионный газ, поступающий в абсорбер, включает в свой состав водород H_2 , окись углерода CO и углекислый газ CO_2 со своими молярными долями μ_{H_2} , μ_{CO} , μ_{CO_2} . Тогда молекулярная масса смеси трех газов на входе в абсорбер будет

$$M_r^{см} = \mu_{H_2} M_{H_2} + \mu_{CO_2} M_{CO_2} + \mu_{CO} M_{CO}, \quad (2)$$

где M_{H_2} , M_{CO_2} , M_{CO} – молекулярные массы водорода, углекислого газа и окиси углерода.

Составы газа и жидкости выражены в относительных массовых концентрациях, поэтому коэффициент распределения умножается на поправочный множитель



Рис. 1. Принципиальная схема абсорбера
ВУ – верхний уровень; НУ – нижний уровень

$$\bar{m} = m \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{г}}^{\text{см}}}, \quad (3)$$

где $M_{\text{ж}} = 18$ – молекулярная масса воды.

Объемный расход смеси газов на входе в абсорбер

$$V_{\text{г}} = V_{\text{г}}^{\text{нфу}} \frac{p_{\text{атм}}}{p_{\text{абс}}}, \quad (4)$$

где $V_{\text{г}}^{\text{нфу}}$ – объемный расход конверсионного газа при нормальных физических условиях; $p_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па; $p_{\text{абс}}$ – абсолютное давление в абсорбере, Па.

Плотность газовой смеси в пузырьках

$$\rho_{\text{г}} = \frac{G_{\text{г}}}{V_{\text{г}}}, \quad (5)$$

где $G_{\text{г}}$ – массовый расход газа на входе в абсорбер, кг/с; $V_{\text{г}}$ – объемный расход газа на входе в абсорбер, м³/с.

Необходимо задать объемный $Q_{\text{ж}}$ (массовый $G_{\text{ж}}$) расход жидкости на входе в абсорбер. Величина этого расхода определяется производительностью насосов заборной воды МПО.

Массовое расходное газосодержание на входе в абсорбер

$$x_{\text{вх}} = \frac{G_{\text{г}}}{G_{\text{г}} + G_{\text{ж}}}. \quad (6)$$

Расходное объемное газосодержание на входе в абсорбер для гетерогенного двухфазного потока

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{1-x}{x} \Pi \cdot \frac{\rho_{\text{г}}}{\rho_{\text{ж}}}}, \quad (7)$$

где Π – коэффициент проскальзывания (скольжения) газа относительно воды. В первом приближении режим течения можно принять гомогенным, когда $\Pi = 1$.

Массовые доли газов в смеси:

$$\text{– водорода } g_{\text{H}_2} = \frac{G_{\text{H}_2}}{G_{\text{см}}};$$

$$\text{– углекислого газа } g_{\text{CO}_2} = \frac{G_{\text{CO}_2}}{G_{\text{см}}};$$

$$\text{– окиси углерода } g_{\text{CO}} = \frac{G_{\text{CO}}}{G_{\text{см}}}.$$

Изобарная теплоемкость газовой смеси

$$C_p^{\text{г}} = g_{\text{H}_2} C_p^{\text{H}_2} + g_{\text{CO}_2} C_p^{\text{CO}_2} + g_{\text{CO}} C_p^{\text{CO}}. \quad (8)$$

Изобарная теплоемкость двухфазной жидкости в абсорбере

$$C_p^{\text{см}} = x C_p^{\text{г}} + (1-x) C_p^{\text{ж}}. \quad (9)$$

Температура смеси в объеме абсорбера

$$T_{\text{см}} = x \frac{C_p^{\text{г}}}{C_p^{\text{см}}} T_{\text{г}} + (1-x) \frac{C_p^{\text{ж}}}{C_p^{\text{см}}} T_{\text{ж}}. \quad (10)$$

Далее все характеристики жидкости и газа принимаются по температуре двухфазной смеси в объеме абсорбера.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АБСОРБЕРЕ

Для расчета скорости всплытия деформированных пузырьков, в предположении о независимости скорости всплытия $v_{\text{п}}$ от диаметра всплывающих

пузырьков (при $Re > 600$), наиболее близкое совпадение с экспериментальными данными дает использование зависимости [6]

$$w_{\text{п}} = 1,01 \left(\frac{\sigma_{\text{ж}}^2}{\mu_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}}} \right)^{0,2}. \quad (11)$$

Диаметр всплывающего устойчивого газового пузырька в жидкости абсорбера определяется формулой [6]

$$d_{\text{п}} = \frac{\xi w_{\text{п}}^2}{2g}, \quad (12)$$

где ξ – коэффициент сопротивления относительно движению пузырька, который определяется по графику, изображенному на рис. 2.

Расчеты, выполненные по формуле (11) для воды при температуре +30 °С, показали, что скорость всплытия газовых пузырьков составила ~ 0,3 м/с.

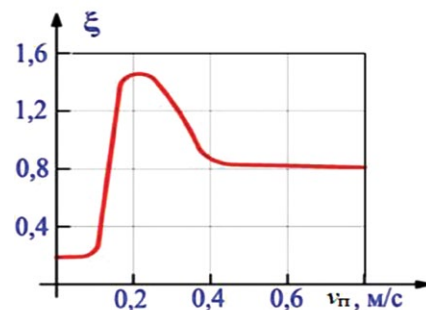


Рис. 2. Зависимость коэффициента сопротивления от скорости всплытия пузырька

Динамический коэффициент вязкости смеси газов определим по формуле Фроста

$$\mu_{\text{г}}^{\text{см}} = T_{\text{см}} (6,6 - 2,25 \lg M_{\text{г}}^{\text{см}}) \times 10^{-8}. \quad (13)$$

Критерий Рейнольдса для газового пузырька

$$Re_{\text{г}} = \frac{w_{\text{п}} d_{\text{п}} \rho_{\text{г}}}{\mu_{\text{г}}^{\text{см}}}. \quad (14)$$

Коэффициент диффузии углекислого газа в газовой фазе

$$D_{\text{г}} = \frac{4,3 \times 10^{-7} T^{\frac{3}{2}}}{p \left(V_{\text{CO}_2}^{\frac{1}{3}} + V_{\text{см}}^{\frac{1}{3}} \right)^2} \sqrt{\frac{1}{M_{\text{CO}_2}} + \frac{1}{M_{\text{г}}^{\text{см}}}}, \quad (15)$$

где p – абсолютное давление кг/с/см²; V_{CO_2} , $V_{\text{см}}$ – мольные объемы газов, см³/моль для CO₂ и газовой смеси соответственно; M_{CO_2} , $M_{\text{г}}^{\text{см}}$ – мольные массы газов, соответственно 44 кг/кмоль и 7,65 кг/кмоль; V_{CO_2} и $V_{\text{см}}$ определяются из таблиц [7]: $V_{\text{CO}_2} = 34$ см³/моль; $V_{\text{см}} = V_{\text{H}_2} \cdot \mu_{\text{H}_2} + V_{\text{CO}_2} \cdot \mu_{\text{CO}_2} + V_{\text{CO}} \cdot \mu_{\text{CO}}$.

Критерий Прандтля для газа

$$Pr_{\text{г}} = \frac{\mu_{\text{г}}^{\text{см}}}{D_{\text{г}} \rho_{\text{г}}}. \quad (16)$$

Диффузионный критерий Нуссельта для газовой фазы

$$Nu_{\text{г}} = 0,407 Re_{\text{г}}^{0,655} Pr_{\text{г}}^{0,333}. \quad (17)$$

Коэффициент массоотдачи для газа

$$\beta_{\text{г}} = \frac{Nu_{\text{г}} D_{\text{г}}}{d_{\text{п}}}. \quad (18)$$

Площадь проходного сечения абсорбера

$$f_{\text{абс}} = 0,785 d_{\text{абс}}^2, \quad (19)$$

где $d_{\text{абс}}$ – диаметр абсорбера.

Скорость жидкости в абсорбере с учетом затесненности проходного сечения газовыми пузырьками

$$w_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{f_{\text{абс}} (1 - \varphi)}. \quad (20)$$

Эквивалентный диаметр абсорбера

$$d_{\text{экв}}^{\text{абс}} = d_{\text{абс}} \sqrt{1 - \varphi}. \quad (21)$$

Критерий Рейнольдса для жидкости в абсорбере

$$Re_{\text{ж}} = \frac{w_{\text{ж}} d_{\text{экв}}^{\text{абс}}}{\nu_{\text{ж}}}, \quad (22)$$

где $\nu_{\text{ж}}$ – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Коэффициент диффузии углекислого газа в жидкой фазе

$$D_{\text{ж}} = \frac{1 \times 10^{-6}}{A \cdot C \sqrt{\mu_{\text{ж}}}} \left(\frac{1}{V_{\text{CO}_2}^{\frac{1}{3}} + V_{\text{ж}}^{\frac{1}{3}}} \right)^2 \sqrt{\frac{1}{M_{\text{CO}_2}} + \frac{1}{M_{\text{ж}}}}, \quad (23)$$

где A и C – коэффициенты, зависящие от свойств растворенного вещества и растворителя, для газов: $A = 1$, для воды $C = 4,7$; $V_{\text{ж}} = 18,9$ см³/моль – мольный объем воды; $M_{\text{ж}} = 18$ кг/моль – мольная масса воды.

Критерий Прандтля для жидкости

$$Pr_{\text{ж}} = \frac{\mu_{\text{ж}}}{D_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}}}. \quad (24)$$

Диффузионный критерий Нуссельта для жидкой фазы

$$Nu_{\text{ж}} = 0,0021 Re_{\text{ж}}^{0,75} Pr_{\text{ж}}^{0,5}. \quad (25)$$

Приведенная толщина пленки жидкости

$$\theta_{\text{пр}} = \left(\frac{\mu_{\text{ж}}^2}{\rho_{\text{ж}}^2 g} \right)^{0,333}. \quad (26)$$

Коэффициент массоотдачи для жидкой фазы

$$\beta_{\text{ж}} = \frac{Nu_{\text{ж}} D_{\text{ж}}}{\theta_{\text{пр}}}. \quad (27)$$

Коэффициент массопередачи между газом и жидкостью

$$K_{\text{г-ж}} = \frac{1}{\frac{1}{\beta_{\text{г}}} + \frac{1}{\beta_{\text{ж}}}}. \quad (28)$$

Объем одного газового пузырька в абсорбере

$$V_{\text{п}} = \frac{\pi d_{\text{п}}^3}{6}. \quad (29)$$

Число пузырьков в объеме абсорбера

$$n_{\text{п}} = \frac{V_{\text{абс}} \bar{\varphi}}{V_{\text{п}}} = \frac{0,785 d_{\text{экв}}^{\text{абс}2} L_{\text{абс}} \left(\frac{\varphi}{2} \right)}{V_{\text{п}}}. \quad (30)$$

Площадь поверхности одного газового пузырька

$$f_{\text{п}} = \pi d_{\text{п}}^2. \quad (31)$$

Суммарная поверхность всех пузырьков в объеме абсорбера

$$f_{\text{п}}^{\text{сум}} = f_{\text{п}} n_{\text{п}}. \quad (32)$$

Масса углекислого газа, перешедшего из смеси газов в жидкость в объеме абсорбера

$$M_{\text{CO}_2} = (C_{\text{CO}_2}^{\text{г. вх}} - C_{\text{CO}_2}^{\text{г. вых}}) V_{\text{CO}_2} = (C_{\text{CO}_2}^{\text{г. вх}} - C_{\text{CO}_2}^{\text{г. вых}}) V_{\text{абс}} \varphi, \quad (33)$$

где $C_{\text{CO}_2}^{\text{г. вх}}$, $C_{\text{CO}_2}^{\text{г. вых}}$ – концентрации углекислого газа в смеси на входе и выходе абсорбера.

Концентрация углекислого газа в жидкости на выходе абсорбера

$$C_{\text{CO}_2}^{\text{ж. вых}} = C_{\text{CO}_2}^{\text{ж. вх}} + \frac{M_{\text{CO}_2}}{0,785d_{\text{абс}}^2 L_{\text{абс}} (1 - \varphi)}, \quad (34)$$

где $C_{\text{CO}_2}^{\text{ж. вх}}$ – концентрация углекислого газа в жидкости на входе в абсорбер.

Расход поглощенного углекислого газа водой в абсорбере

$$W_{\text{CO}_2} = K_{\text{г-ж}} f_{\text{п}}^{\text{сум}} (C_{\text{CO}_2}^{\text{г}} - C_{\text{CO}_2}^{\text{ж}}). \quad (35)$$

Массовый расход углекислого газа на выходе абсорбера

$$G_{\text{CO}_2}^{\text{вых}} = G_{\text{CO}_2}^{\text{вх}} - W_{\text{CO}_2}. \quad (36)$$

Степень извлечения углекислого газа в абсорбере

$$q = \frac{G_{\text{CO}_2}^{\text{вх}} - G_{\text{CO}_2}^{\text{вых}}}{G_{\text{CO}_2}^{\text{вх}}}. \quad (37)$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА АБСОРБЕРА

Система уравнений (11) – (37) представляет собой алгоритм решения задачи растворимости углекислого газа в заборной воде морского подводного объекта. В расчетах принималось, что расход углекислого газа на входе в абсорбер оставался постоянным для трех вариантов вычислений. Кроме того, соотношение массовых долей газов в смеси трех газов также не изменялось. В этом случае коэффициент массоотдачи для газа $\beta_{\text{г}}$ также был постоянным.

В таблице приведены отдельные результаты расчета в рамках реализации цифрового двойника абсорбера для относительных значений расхода заборной воды, равных 1,0; 0,6 и 0,3.

Как следует из рассмотрения графиков, изображенных на рис. 3, по мере увеличения расхода жидкости в абсорбер улучшается процесс растворения углекислого газа в жидкости. При относительном расходе, равном 1, реализуется 100-процентное растворение углекислого газа. По мере снижения расхода жидкости в абсорбер падает степень извлечения углекислого газа из смеси. Подобная ситуация может привести к попаданию углекислого газа в продуктовый газ с дальнейшим выходом его к топливным элементам ЭХГ, что создает предпосылки для карбонизации электролита и необходимости его кондиционирования. Карбонизация электролита вызывает снижение характеристики батареи топливных элементов и ухудшение работоспособности.

Основной причиной снижения напряжения на клеммах является образование осадка (визуально наблюдаемого при дефектации батарей топливных элементов) карбонатных солей калия на катоде.

Таблица
Значения расходных характеристик газа, коэффициентов массоотдачи, степени извлечения CO_2 из смеси конверсионного газа в абсорбере

Относительный расход воды	Массовое расходное газосодержание в объеме абсорбера, x	Объемное расходное газосодержание в объеме абсорбера, φ	Диффузионный критерий Нуссельта для жидкой фазы, $Nu_{\text{ж}}$	Коэффициент массоотдачи для жидкости, $\beta_{\text{ж}}$, м/с	Коэффициент массоотдачи между газом и жидкостью, $K_{\text{г-ж}}$, м/с	Степень извлечения углекислого газа из смеси газов, % в абсорбере, q
0,3	0,00715	0,474	21,18	0,032	0,005	5
0,6	0,0036	0,31	32,5	0,05	0,006	74
1,0	0,00205	0,2	46,1	0,07	0,0066	100

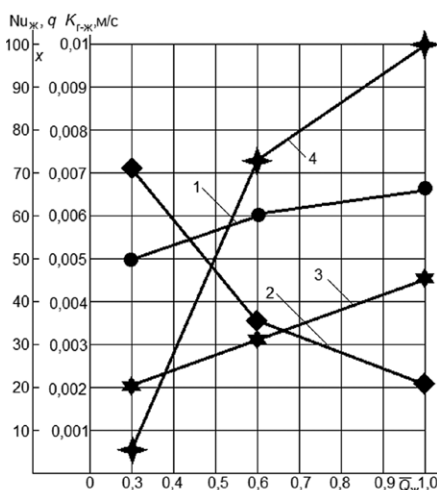


Рис. 3. Зависимость основных показателей работы абсорбера от относительного расхода жидкости: 1 – $K_{\text{г-ж}}$, 2 – q , 3 – $Nu_{\text{ж}}$, 4 – x

Выпадение K_2CO_3 блокирует газовые поры и даже газовые коллекторы, ограничивая доступ кислорода к катализатору.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа системы очистки конверсионного газа от примеси углекислого газа предполагает наличие в устройстве сорбционной очистки МПО абсорбера для окончательного растворения CO_2 в воде. С целью точного отображения реального состояния двухфазной смеси в объеме абсорбера создается цифровой двойник абсорбера.

Основой цифрового двойника является алгоритм расчета процесса абсорбции углекислого газа морской водой. Разработанный алгоритм основывается на правильном представлении диффузионных процессов растворения этого газа из пузырьков двухфазной смеси, поднимающейся вертикально вверх в объеме абсорбера.

Процессы переноса, к числу которых относится и массообмен, имеют много общего, поэтому описываются критериальными уравнениями Рейнольдса, Нуссельта, Прандтля. Диффузионный перенос вещества из одной фазы в другую реализуется через поверхность раздела, образующуюся в месте соприкосновения обеих фаз. Теоретическая модель диффузии предполагает наличие по обе-

им сторонам поверхности раздела тонких пограничных диффузионных слоев, в которых происходит резкое изменение концентрации. Движение жидкости внутри пограничного слоя ламинарное, с линейным возрастанием скорости по мере увеличения расстояния от поверхности раздела. В массе газа или жидкости движение имеет турбулентный характер. При этом преобладает более быстрый процесс конвективной диффузии, приводящий к выравниванию концентраций в направлении, поперечном к поверхности раздела фаз.

Полученные в результате анализа характера движения двухфазной среды в объеме абсорбера уравнения легли в основу составления программы расчета. По результатам расчета был определен необходимый расход воды для полного растворения поступающего в абсорбер углекислого газа в составе конверсионного газа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ченцов М.С., Соколов В.С., Прохоров Н.С. Концепция установки получения водорода риформингом дизельного топлива в составе атмосферонезависимой энергетической установки с электрохимическими генераторами для неатомной подводной лодки // Альтернативная энергетика и экология. – 2006. – №11. – С. 39 – 46.
2. Балакин А.В., Дядик А.Н., Кармазин А.С., Ларионов М.В., Сурин С.Н. Разработка принципиальных схем очистки водорода от углекислого газа // Морской вестник. – 2020. – № 4 (76). – С. 81 – 88.
3. Пронина Е. В. Цифровой двойник в современном производстве // Scientific perspectives 2018. – 2018. – Р. 58 – 60.
4. Протодьяконов И.О., Чесноков Ю.Г. Гидромеханические основы процессов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 360 с.
5. Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В.А. Корабельные воздухоплавательные энергетические установки. – СПб.: Судостроение. 2006. – 424 с.
6. Бершадский В.А. Испытания с имитацией эксплуатационных условий подачи криогенных компонентов топлива при отработке ракетных двигателей установок. – Дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук. – Сергеев Посад, НИИ-ХИММАШ, 2001. – 256 с.
7. Лаптев А.Г. Модели пограничного слоя и расчет тепломассообменных процессов. – Изд. Казанского ун-та, 2007. – 500 с. ■

В Российской Федерации, как ранее и в Советском Союзе, многочисленные конструкторские бюро разрабатывают водоизмещающие средства (корабли, суда, катера и т.д.) различного назначения, поднадзорные ВМФ, Регистру СССР (в настоящее время – Российский морской регистр судоходства, или РМРС) и Речному Регистру РФ. Для переделки рулей на всех заказах устанавливаются рулевые машины (РМ) различных типов:

- электрогидравлические, обеспечивающие крутящий момент на баллере $M_{кр} = 6,3\text{--}4000$ кНм;
- секторные (электроручные), обеспечивающие $M_{кр} = 30\text{--}222$ кНм;
- реечные;
- ручные различных типов (гидравлические, штуртросовые, с валиковым приводом).

До 1939 г. все РМ для проектируемых кораблей (пр.68б, 68к, 30б и др.) разрабатывали ЦКБ-проектанты. Это были только электрогидравлические плунжерные РМ. С 1939 г. разрабатывало все электрогидравлические РМ различных типов и модификаций ЦКБС-4 (тогда п/я 420, с 1965 г. п/я 417), правопреемником которых является ЗАО «ЦНИИ СМ».

Первая РМ, спроектированная в ЦКБС-4 ($M_{кр} = 316$ тс·м), предназначалась для линкора пр. 23 («Советский Союз»), строительство которого в связи с началом Великой Отечественной войны было прекращено.

Единственное исключение – РМ, выполненная в 1961 г. в инициативном порядке КБ Ижорского завода для судов пр.394 и пр.1793. РМ для судна пр. 394 с $M_{кр} = 7,5$ тс·м изготовлена в 1962 г. и прошла МВИ. РМ для судов пр.1793 не изготавливалась.

Разработанные ЗАО «ЦНИИ СМ» электрогидравлические РМ, обеспечивающие момент руля до 4000 кНм (400 тс·м), установлены на судах и кораблях 220 проектов, а именно: на судах 129 проектов, на кораблях 49 проектов и на судах и кораблях совместного использования 11 проектов. Перечень проектов приведен в приложении 1.

Некоторые РМ (электрогидравлические Р13, Р15, Р17, Р16, секторные РЭР3–8, РЭР5–1, РЭР7,5–13, РЭР15–2) установлены на судах и кораблях одного и того же проекта.

При использовании РМ для кораблей ВМФ того же проекта, что и проект судна, к корабельным РМ предъявляются дополнительные требования как поднадзорным ВМФ.

Единственная реечная РМ с $M_{кр} = 2,5$ кНм (0,25 тс·м) разработана ЦТКБ Министерства речного флота, которое позже вошло в состав Санкт-

АНАЛИЗ ИСТОРИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РУЛЕВЫХ МАШИН НА КОРАБЛЯХ И СУДАХ

Ю.В. Копытов, гл. конструктор ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1051, sudmash@sudmash.ru

Петербургского государственного университета водных коммуникаций.

Секторные (электроручные) рулевые машины были установлены на судах и кораблях 124 проектов: на судах 71 проекта, на кораблях 39 проектов, на судах и кораблях совместного использования 14 проектов (РЭР3–2, РЭР3–3, РЭР3–4, РЭР5–1, РЭР5–3, РЭР7,5–2, РЭР7,5–4, РЭР7,5–13, РЭР11–3, РЭР15–1, РЭР15–2, РЭР15–3, РЭР15–5).

В начале 60-х гг. производство секторных РМ было прекращено. На заказах пр. 514 РМ РЭР12–2 заменены на РМ РЭГ3–1. (По названной причине пр. 514 указан в обоих приложениях 1 и 2).

Штуртросовые рулевые машины типа РРШ изготавливались в соответствии с ОСТ5.2156–75 и установлены на заказах 100 проектов:

- РМ РРШ1 на заказах 14 проектов: 03473, 12240, 12071, 0871, 03435, 01301, 01302, 03520, 03521, М503, 4.9.14, 4741/2, 4741/3, 423/5;
- РМ РРШ2 на заказах 11 проектов: 03382, 01960, 02305, 03383, 03421, 00373, 03383, 388МС, 388ПК, 1659, 1393;
- РМ РРШ3 на заказах 5 проектов: 20790, АТ30, АТК, АТМ30, 1408;
- РМ РРШС1 на заказах 31 проекта: 1655, 1657, 1733, 1269, ДС, 183В, 1838М, 353, 370АС, 337, 337Т, Д024, Т634, ТАЦ, ТАЦ-1, 1472, 1478, 1478-А, ЗПА88, 1615, 1823В, 18142, 1458, 1844, 1844М, 1445, 4400А, 1403, 14100, 14101, 14102;
- РМ РРШС на заказах 39 проектов:

Г1415, 1403А, 1463А, 12621, 12250, П-1415, РВ 1415, РН 1415У, 741/ЗК, 741/31К, 1325С, 1401, 1402Б, 14040, 14081, 14152, 14153, 14154, 14155, 13590, 16660, 16830, 17091, 18065, 396Б, 231, СС1/СП, 10620, ЗПА-85, 14002, 14004, БМК-100, БМК/30М, 3А22, 16060, 14860, 14670, 14700, 14701.

РМ с валиковым приводом разрабатывались в соответствии с отраслевыми нормативами ОН9–57–58, ОН9–57–64 и ОН9–662–67.

Не подлежит никакому сомнению, что чем больше водоизмещение корабля или судна, тем больше, как правило, крутящий момент, который должна обеспечивать РМ. Следовательно, серийность заказов, на которых установлена РМ, обратно пропорциональна $M_{кр}$, развиваемому РМ (см. таблицу).

Последние 15 лет РМ, разработанные ЗАО «ЦНИИ СМ», установлены на знаковых для ВМФ РФ кораблях проектов 20380, 20385, 22350, 11711 и на атомном ледоколе «50 лет Победы» (пр. 10520).

Приложение 1. Перечень проектов, на заказах которых установлены электрогидравлические рулевые машины: 68К, 793, 68б, 30б, 563, 52, 310, 594, 595, 1563, 1563Э, 1886, 1886М, 564, 569, 563, 563Б, 514, 577, 566б, 581, 398, 593, 530, 570, 97, 97А, 97Б, 97К, 586, 570, 580, 398б, 569А, 596, 596М, 450Б, 577, 581, 1580, 266, 266Э, 1251, 1799, 1123, 257М, 257ДМ, 257ДМЭ, 1252, 1253, 1232, 1496, 1328, 1459, 1371А, 388М, 388МЭ, 1891, 1322, 1322Б, 1508А, 1536, 1371, 1875, 1282, 1380, 1499, 535, 535Э,

Таблица

Сравнительные данные по соотношению величины $M_{кр}$, развиваемого РМ, и серийности заказов

Индекс РМ	$M_{кр}$, развиваемый РМ, кНм (тс·м)	Количество и номера проектов, на заказах которых установлена РМ		Кол-во построенных заказов, на которых установлены РМ
		кол-во	номер	
Р05М	16 (1,6)	25	05023, 13310, 13580, 13020, 11980, 11981, 14970, 5023М, 15190, 1741А, 04202, 07500, 12901, 12961, 05029, 13310, 1519, 1519Б, 1331, 16501, 14611, 17411, 0581, 1741, 15190	Более 280
РЭГ20	1600 (160)	1	1123	2
Р35	1250 (125)	2	1143, 1144	8
Р26 Р26М1	4000 (400)	1	1551	6
Р24	2500 (250)	3	1593, 10521, 16090	10

535М, 1379, 1519, 1650, 92, 1552, 41, 550, 82, 527, 527А, 789, 1171, 1865, 450, 56, 56М, 57Б, 58, 61, 62, 1134, 1134А, 1134Б, 1135, 1135Б, 11351, 1833, 721, 721А, 1586, 586Э, 564, 392, 392Б, 567, 567ГТУ, 573, 582, 1362, 1545, 791, 866М, 1481, 1893, 1893М, 503, 1844, 1844Б, 1844М, 1844Д, 1824, 1388, 1532, 464А, 1810, 1575, 1818Б, 1742, 1743, Р32, 1831, 503Т, 994, 394А, 394Б, 1791, 1581, 1375, 1574, 1534, 1332, 1351, 7246бис, 1545, 1545Т, 1124, 1124Б, 1557, 1577, 1570, 1159, 1877, 1553, 1525, 1549, 947, 745, 1826, 1900, 1564, 1174, 1376, 1731, 1590, 97А, 97П, 1288, 1337, 1386, 1899, 1563, 1886, 1559, 1559В, 1586, 1560, 595, 595Э, 581, 596, 596М, 569А, 569АЭ, 1809, 1572, 1572А, 537, 1576, 996, 1597, 1562, 1562Э, 1598, 1452, 401, 1568, 1568Э, 1347, 413, 1573, 1809, 1586, 1583, 1919, 995, 400, 1594, 12290, 1052, 986, 1593, 10521, 1551, 1234, 1236, 266М, 12700, 1143, 1144.

Приложение 2. Перечень проектов, на заказах которых установлены секторные (электроручные) рулевые машины типа РЭР: 445, 860РФ, 1890, 1891, 1797, 1271Б, 1814, 1823, 1823М, 1823Б, 1823В, 1824, 513, 1796, 1801, 1783, 758, 758АМ, 1861, 502А, 502Б, 1361, 1361А, 1361Б, 1368, 498, 73К, 254К, 254М, 437Н, 561, 433, 512, 326, 314, 1821, 188, 572, 469, 1815, ДШ450, 29.6, 264, 394, 733, 1541, 749, 749Б, 781, 781Э, 791, 323, 323А, 323Б, 1818, 1818А, 1798, 843, 843Т, 592, 1493, 264А, 532, 1236, 749Б, 507А, 507Б, 507Г, 1565, 749А, 394, 394Б, 50, 159, 159АЭ, 204, 35, 399, 1283, 185, 189, 722, 771, 771А, 771Б, 1505, 769, 769А, 106А, 106К, 1757, 769, 122Б, 450, 746, 1499, 395, 395СТ, 559, 765, 517, 229, 583, 219, 393, 725, 725А, 1798, 507, 558, 558М, 325, 450, 1545, 723, 566, 42, 159, 259, 514, 725, 577.

ЛИТЕРАТУРА

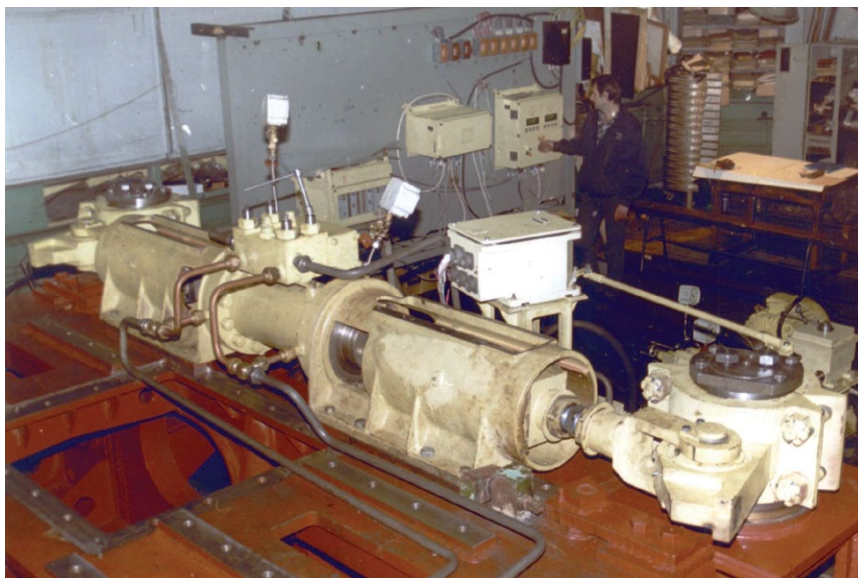
1. Отраслевой стандарт ОСТ5.2156–75.
2. Отраслевой норматив ОН9–57–58.
3. Отраслевой норматив ОН9–662–67.
4. Отраслевой стандарт ОСТ5.4031–71.
5. Технические условия электрогидравлических рулевых машин группы ВТУ.234–...
6. Технические условия электрогидравлических рулевых машин группы МРТУ.5.234–...
7. Технические условия электрогидравлических рулевых машин группы ТУ.234–...
8. Технические условия электрогидравлических рулевых машин группы ЦАКИ.364344.
9. Технические условия секторных (электроручных) рулевых машин группы ВТУ.233–30.
10. Технические условия секторных (электроручных) рулевых машин группы ТУ.233–...
11. Технические условия секторных (электроручных) рулевых машин группы МРТУ.233–...
12. Технические условия ТУ212РСФСР318–8-73 на рулевую машину РГ1.6–1.
13. Технические условия ТУ234–700–48, ТУ234–849–49, ТУ234–1154–49, ТУ234-А1–50 на рулевые машины РЭГ1, РЭГ4, РЭГ2, РЭГ2–1. ■



Рулевая машина Р21М2 на испытательном стенде. Установлена на тяжёлом авианесущем крейсере «Адмирал флота Советского Союза Кузнецов»



Рулевая машина РМ250–2 на заказе проекта 20380



Рулевая машина Р34М на испытательном стенде завода-изготовителя

Проектирование перспективных конструкций трубопроводной арматуры для улучшения виброшумовых характеристик гидравлических систем – актуальная задача. Одним из направлений в решении этой задачи является применение регулируемых дроссельных устройств (РДУ) на основе непроницаемой эластичной мембраны [1].

Макет РДУ с непроницаемой эластичной мембраной толщиной порядка 1 мм и проходным сечением 18 мм представлен на рис. 1. Регулирование (уменьшение или увеличение) площади проходного сечения устройства достигается изменением формы цилиндрической резиновой мембраны, вставленной в проточную часть устройства. Изменение формы проходного сечения мембраны ограничивается направляющей решеткой и осуществляется за счет варьирования объема управляющей воды между корпусом и мембраной при помощи гидравлического пресса. После настройки расхода рабочей среды в трубопроводной системе отключающий клапан закрывается, и гидравлический пресс демонтируется, количество управляющей воды между корпусом и мембраной постоянно, а мембрана находится под воздействием одинаковых давлений, действующих с обеих сторон. Динамически на мембрану воздействует только поток движущейся рабочей среды. Торцевые стенки устройства выполнены из органического стекла для визуализации процесса изменения круглого проходного сечения мембраны в крестообразную форму.

По результатам испытаний макета РДУ была построена экспериментальная гидравлическая характеристика $\Delta P = f(Q)$ (рис. 2), которая имеет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКЕТА РЕГУЛИРУЕМОГО ДРОССЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ НЕПРОНИЦАЕМОЙ ЭЛАСТИЧНОЙ МЕМБРАНЫ

М.В. Куклин, канд. техн. наук,
вед. инженер-физик-акустик АО «ПО «Севмаш»,
контакт. тел. (8184) 50 4691, +7(921) 478 9427, kuklinmikhail@rambler.ru

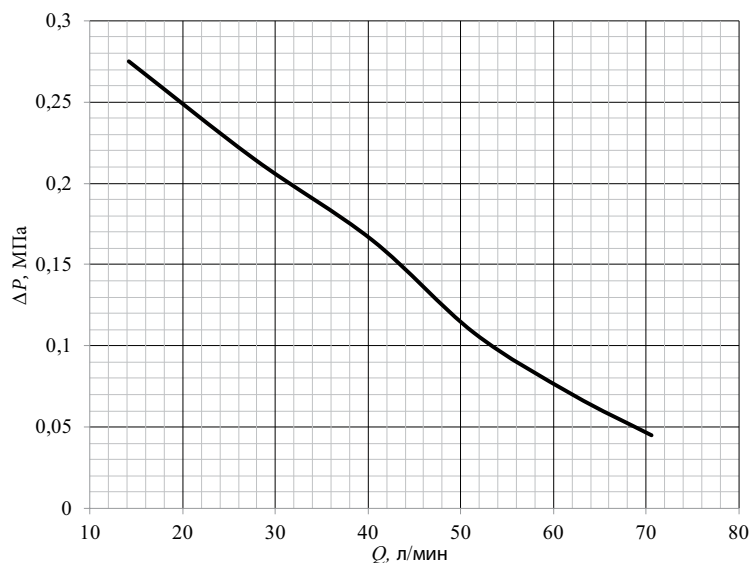


Рис. 2. Гидравлическая $\Delta P(Q)$ характеристика РДУ

линейную зависимость, что говорит о стабилизации потока рабочей среды с достижением ламинарного режима течения. Аналогичный линейный характер расходно-перепадной характе-

ристики был получен и при испытаниях дросселя с эластичным трубчатым элементом [2]. Полученные результаты испытаний свидетельствуют о целесообразности применения эластичной



Рис. 1. Общий вид макета РДУ в сборе и с разобранной внутренней частью



непроницаемой мембраны в качестве регулирующего органа для снижения пульсаций давления в пограничном слое при течении рабочей среды через проточную часть устройства.

На экспериментальном стенде выполнялись исследования виброакустических характеристик макета РДУ и металлических дроссельных шайб традиционного исполнения с помощью аппаратуры фирмы Briel & Kjaer и программного обеспечения «Pulse LabShop».

На рис. 3 представлены усредненные 1/3-октавные спектры уровней вибрации в трех ортогональных направлениях (вертикальном, траверзном и продольном) в контрольных точках, установленных на корпусах РДУ и корпусах одиночных дроссельных шайб с центральным проходным отверстием 7, 10, 13 мм. Сравнительный анализ спектров уровней вибрации на корпусах РДУ и дроссельных шайб выполнялся при одинаковых режимах работы стендового насоса, давлениях на входе и выходе РДУ и шайб, значениях коэффициента гидравлического сопротивления.

Из представленных спектров видно, что уровни вибрации на корпусе РДУ ниже в широком частотном диапазоне, чем на дроссельных шайбах. Соответственно можно рекомендовать применение РДУ вместо дроссельных шайб и устройств с металлическими (твердотельными) регулирующими элементами для улучшения виброакустических характеристик трубопроводных систем.

На рис. 4 представлены картины вихреобразования при обтекании потоком проточных частей дроссельной шайбы (а) и РДУ (б). Из рисунков наглядно видно, что плавное изменение площади проходного сечения канала и применение эластичной резиновой мембраны позволит получить ламинарный режим течения рабочей среды, а также приведет к снижению гидродинамического шума и вибрации трубопроводов.

РДУ на основе эластичной непроницаемой мембраны – это перспективное малозумное дроссельное устройство, которое обладает следующими преимуществами:

- уровень вибрации на средних и высоких частотах существенно более низкий по сравнению с дроссельными шайбами и дроссельными устройствами с твердотельными регулирующими элементами;
- простая и точная настройка расхода рабочей среды, не требующая слива рабочей среды из трубопроводов;
- высокая стабильность заданных настроек за счет отсутствия неподвижных соединений, вибрация в которых приводит к их ослаблению и образованию зазоров.

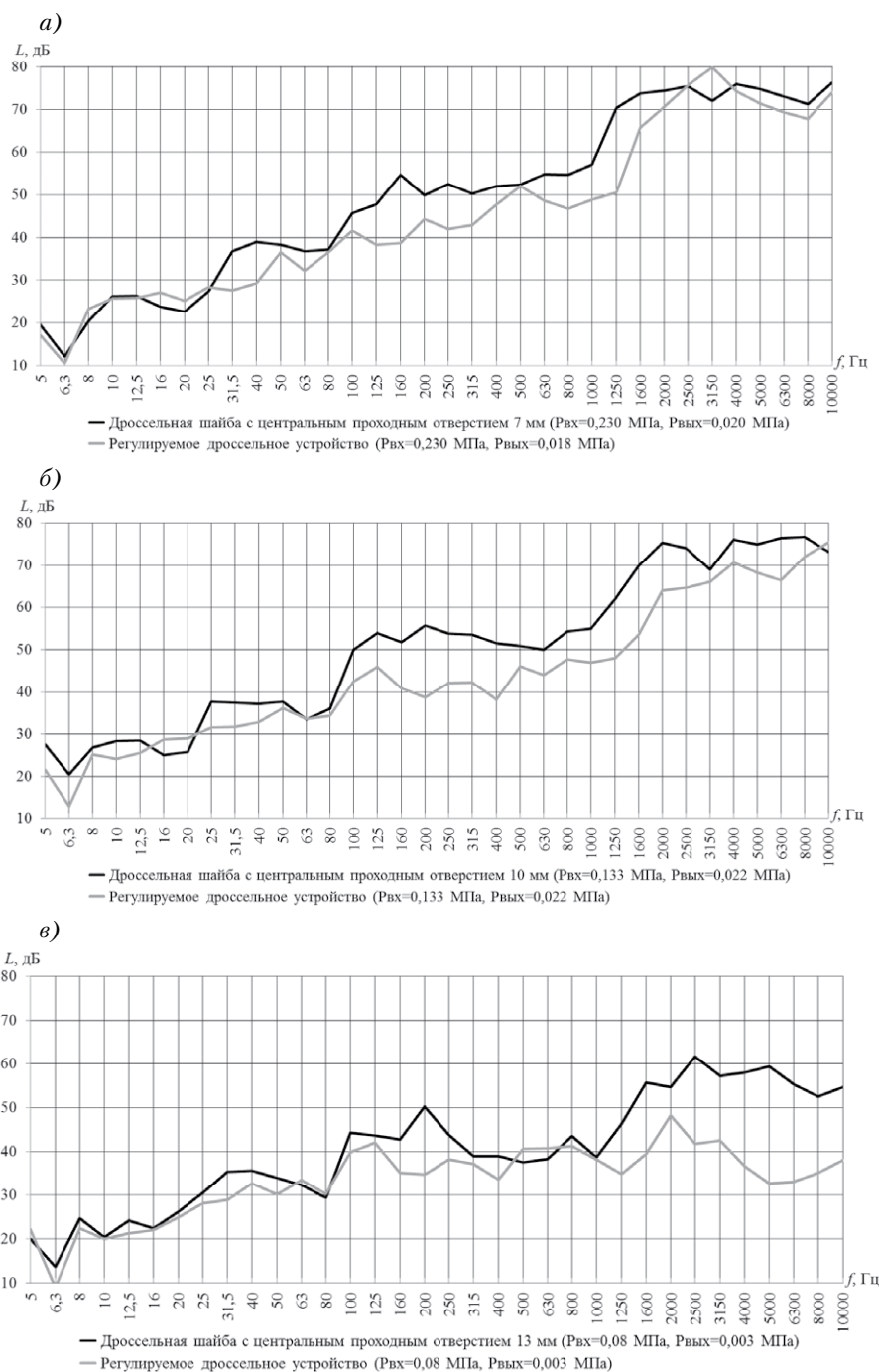


Рис. 3. 1/3-октавные спектры уровней вибрации на корпусах РДУ (серая кривая) и дроссельной шайбе (черная кривая): а – коэффициент гидравлического сопротивления порядка 93; б – коэффициент гидравлического сопротивления порядка 18; в – коэффициент гидравлического сопротивления порядка 4,1

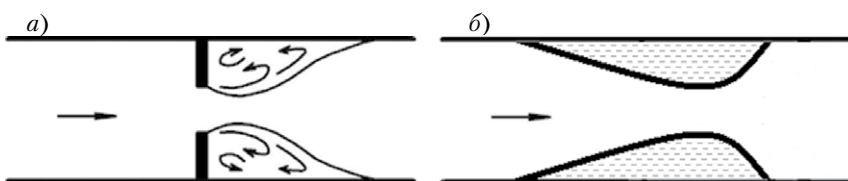


Рис. 4. Картины вихреобразования при обтекании потоком проточных частей дроссельной шайбы с центральным проходным отверстием (а) и РДУ на основе непроницаемой эластичной мембраны (б)

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузлин М.В. Регулируемое дроссельное устройство на основе непроницаемой эластичной мембраны // Судостроение. – 2022. – № 2. – С. 31–32.

2. Берестовицкий Э.Г., Гладили Ю.А., Пялов Н.В. Создание гидроаппаратуры с эластичными регулирующими элементами // Судостроение. – 2021. – № 6. – С. 44–48. ■

17 октября 2022 г. российская наука и военно-морской флот России понесли невосполнимую утрату – ушел из жизни человек огромной доброты и мудрости Ашот Аракелович Саркисов. Учитель, воспитавший более 10 тысяч корабельных инженеров-ядерщиков, вице-адмирал, Почетный профессор Военно-морской академии и Военно-морского инженерного института, главной заслугой которого стало создание уникальных корабельных АЭУ, обеспечение безаварийной эксплуатации атомных подводных лодок.

Среди его неоспоримых заслуг – фундаментальные труды по ядерной энергетике, создание крупной научной школы. Вся жизнь этого удивительно светлого, чуткого и отзывчивого человека, обладавшего обаянием, тактом и принципиальностью являет собой пример служения Родине, военно-морскому флоту и любимой профессии.

За более чем шестидесятилетний период научной деятельности он внес выдающийся, а по ряду направлений неопределимый вклад в становление и развитие отечественной, прежде всего судовой и корабельной атомной энергетики. Он по праву считается пионером в деле создания научной и учебно-методической базы подготовки корабельных инженерных кадров советского, а затем и российского атомного подводного флота. С именем А.А. Саркисова связано успешное освоение и многолетняя безаварийная эксплуатация многоцелевых атомных подводных лодок и атомных подводных крейсеров стратегического назначения трех поколений. Он стоял у истоков создания уникального действующего комплекса с учебно-исследовательским действующим ядерным реактором в Севастопольском инженерном военно-морском училище.

А.А. Саркисов родился 30 января 1924 г. в Ташкенте. По окончании в 1941 г. школы поступил в ВВМИУ им. Ф.Э. Дзержинского. В ноябре того же года вместе с другими курсантами первого курса был направлен в действующую армию, где вплоть до 1945 г. участвовал в боевых операциях на Карельском фронте. За героизм, проявленный на полях сражения, он был награжден многими боевыми орденами. Об этом периоде своей жизни он написал книгу «Воспоминания. Встречи. Размышления. Ситуации».

В марте 1945 г. старший лейтенант А.А. Саркисов был отозван с фронта и зачислен слушателем ВВМИУ им. Ф.Э. Дзержинского. Параллельно с учебой в училище в 1951 г. он экстерном завершил обучение на механико-математическом факультете Ленинградского государственного университета. С 1950 по 1954 г. проходил службу на Балтийском флоте в должностях флагманского инженер-механика бригады, а затем и дивизии торпедных катеров.

ПАМЯТИ А.А. САРКИСОВА



В 1954 г. А.А. Саркисов поступает в адъюнктуру ВВМИУ им. Ф.Э. Дзержинского и досрочно завершает ее успешной защитой кандидатской диссертации. С этого времени началась его активная научная, научно-педагогическая и общественная деятельность. На всех должностях, которые он занимал, проявлялись его удивительные черты характера: требовательность к себе, доброе и внимательное отношение к подчиненным, тяга к новым знаниям.

В 1959 г. А.А. Саркисова назначают начальником вновь организованной кафедры ядерных реакторов и парогенераторов подводных лодок в СВВМИУ. Здесь он проработал 12 лет, в январе 1971 г. уже доктор технических наук, профессор капитан 1 ранга А.А. Саркисов стал заместителем начальника этого училища, а в ноябре 1971 г. его начальником. В 1972 г. ему было присвоено звание контр-адмирала, а в 1978 г. – вице-адмирала и назначают заместителем начальника Военно-морской академии им. А.А. Гречко по научной работе.

В 1985 г. А.А. Саркисова назначают на должность, связанную с определением перспективных направлений развития отечественного ВМФ, он становится председателем НТК ВМФ. В 1981 г. профессор А.А. Саркисов был избран членом-корреспондентом Академии наук СССР по специальности «энергетика» (в том числе ядерная), в 1994 г. – действительным членом Академии наук СССР.

А.А. Саркисову принадлежат около 300 научных трудов и десятки изобретений, в том числе первая в мировой научной литературе фундаментальная работа по нестационарным и аварийным режимам работы корабельных ЯЭУ. Бла-

годаря его теоретическим и экспериментальным исследованиям впервые был создан принципиально новый бесшумный энергоисточник – термоэлектрический генератор, встроенный в активную зону ядерного реактора, что открыло возможность создания мощных генераторов, пригодных для обеспечения электроэнергией глубоководных аппаратов и подводных лодок.

А.А. Саркисов по праву считается основоположником ряда новых научных направлений, в основу которых положены исследования нейтронно-физических и теплофизических процессов в главных элементах энергоустановок. Им создана теория динамических процессов и автоматической аварийной защиты ЯЭУ. Под его руководством были разработаны в виде ГОСТов требования ВМФ по обеспечению живучести, надежности и безопасности судовых АЭУ.

Одновременно А.А. Саркисов вел активную работу в общественных организациях, советах, редколлегиях научных изданий. В течение более 20 лет он был председателем Экспертного совета ВАК РФ по проблемам флота и кораблестроения, заместителем председателя ВТС ВМФ, председателем секции №1 Научного совета ГНТК по проблеме «Изучение океанов и морей и использование их ресурсов».

Академик А.А. Саркисов в 1999 г. был назначен председателем Экспертного совета Международной научно-технической программы по проблеме обращения с радиоактивными отходами (АТРП). При его личном участии была начата разработка стратегического плана утилизации (экологической реабилитации) выведенных из эксплуатации объектов атомного флота. Он принимал участие в исследованиях, посвященных проблемам нераспространения ядерного оружия.

Его заслуги перед Отечеством отмечены многими наградами, в числе которых – орден Отечественной войны I и II степени, три ордена Красной Звезды, орден «За службу Родине в Вооруженных силах СССР» III степени, «За заслуги перед Отечеством» IV и III степени, орден «Знак Почета» и орден Почета, а также Золотая медаль РАН имени А.П. Александрова и Премия Правительства РФ в области науки и техники В 2014 г. он стал лауреатом престижной Международной премии «Глобальная энергия», на которую претендовали ученые из 60 стран.

Редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» выражают глубочайшее соболезнование родным, друзьям, коллегам в связи с кончиной А.А. Саркисова, который навсегда останется в наших сердцах и в нашей памяти.

В настоящее время при проектировании систем электропитания (СЭП) объектов ответственного назначения ядерной энергетики, военной, авиационно-космической, судостроительной промышленности и т.д. применяется широкий арсенал методов, способов и технических решений, направленных на обеспечение их отказоустойчивости, живучести и безопасности. К сожалению, традиционные подходы к проектированию СЭП, связанные с использованием многоуровневой избыточности, высоконадежных компонентов, средств контроля, самоконтроля, защиты и т.д., уже не дают требуемого результата, о чем свидетельствуют участвовавшие аварии и происшествия при выполнении опасных технологических процессов. Поэтому теоретические исследования таких систем и вопросы их проектирования актуальны и имеют большую практическую ценность.

Весьма значительная часть нарушений питания потребителей электроэнергии связана со сбоями и отказами в работе цифровых каналов передачи управляющей и контрольно-измерительной информации, являющихся наименее надежными элементами системы управления СЭП, функционирующей в условиях жестких временных ограничений. Перспективным путем решения этой проблемы является совершенствование СЭП на основе существующего объема резервного оборудования и программно-аппаратных средств управления и контроля путем создания адаптивной системы активной защиты от сбоев и отказов [1], построенной с использованием интеллектуальных технологий [2, 3]. В данной работе предлагается решение одной из задач, выполняемой этой системой, а именно, задачи своевременного обнаружения предотказного состояния подсистемы передачи информации (ППИ) и своевременного выполнения управляющих воздействий по предотвращению отказа с максимальным исключением человеческого фактора из процесса принятия решений. Цель работы – создание модели более глубокой оценки состояния ППИ в СЭП на основе вторичной обработки имеющейся информации с использованием методов теории искусственного интеллекта, являющейся своевременной, понятной и удобной при использовании оператором в процессе принятия решений.

ВЫБОР КРИТЕРИЕВ И ПОДХОДА К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Операции управления и контроля резервированных элементов СЭП осуществляются с использованием ре-

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОДСИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Смирнов, канд. техн. наук, вед. инженер НИЛ,
Ю.Ф. Подопрёкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ,
главный специалист по НИОКР,
А.Н. Рудаков, начальник НПП, АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. +7 (911) 918 3391, (812) 271 6774

зервированных каналов передачи информации (КПИ), которые образуют ППИ. Под КПИ понимается совокупность приемопередатчика вычислительного устройства, проводной линии связи и приемопередатчика сопрягающего устройства или блока контроля сопротивления изоляции цепей электропитания, позволяющая приемнику сообщения получать информацию от источника сообщения. Существующая практика контроля в СЭП предусматривает традиционный подход к оценке состояния, характеризующего способность выполнять требуемые функции как отдельно взятого КПИ, так и ППИ. Такая оценка состояния сводится к двум видам состояний (работоспособное и неработоспособное) и не ориентирована на решение задачи мониторинга развития опасных тенденций изменения состояний, являющихся предвестником отказа. Бинарный подход к оценке состояния не учитывает качественные оценки промежуточных состояний работоспособной ППИ, имеющих различный уровень работоспособности, который обусловлен индивидуальным характером динамики внутренних и внешних дестабилизирующих процессов. Данные обстоятельства не позволяют применять данный подход для мониторинга и контроля ППИ с целью своевременного выявления фактов предрасположенности к неустойчивости работоспособного состояния на ранних стадиях развития дефекта, обнаружения предотказных состояний и оповещения оператора для принятия более обоснованных управляющих решений.

Анализ стандартов и существующих методов и моделей оценки качества или состояний сложных систем показывает, что их эффективное применение для конкретной системы требует учета специфики предметной области при выборе оптимального числа ключевых показателей и наиболее рационального алгоритма их агрегирования. При этом необходимо учитывать общие требования к показателям, сформулированные в системном анализе: соответствие показателей цели обеспечения оператора

ценной информацией, полнота, изменчивость, ясность физического смысла, избыточность и гибкость (способность учитывать происходящие изменения). Особенности проектирования СЭП ответственных объектов связаны с использованием ограниченного объема априорной информации и статистических данных о недетерминированных физических процессах старения, износа и отказов элементов ППИ в условиях неопределенности внутренних и внешних дестабилизирующих факторов. Поэтому построение адекватной модели оценки состояния требует дополнительного использования текущей, ретроспективной и экспертной информации [4–6].

С учетом специфики эксплуатации СЭП предлагается оценку состояния работоспособной ППИ проводить после процедуры подготовки СЭП к использованию по назначению. Данная процедура включает в себя выполнение следующих операций:

- загрузка операционной системы и программного обеспечения;
- пусковые тесты резервированного вычислительного устройства;
- самоконтроль измерительных блоков;
- включение, выключение и контроль резервированных агрегатов и преобразователей, обеспечивающих широкий спектр выходных напряжений;
- контроль цепей электропитания на отсутствие или наличие напряжения;
- контроль сопротивления изоляции цепей питания без напряжения и под напряжением.

Время готовности СЭП к работе из полностью выключенного состояния имеет жесткие ограничения, и если оно превышено при выполнении процедуры подготовки СЭП к использованию по назначению, то устанавливается факт отказа СЭП. Максимально допустимое время готовности $T_{\text{макс}}$ задается в техническом задании на разработку и содержит временную избыточность в виде определенного временного резерва для повторного выполнения отдельных

операций обмена пакетами данных при восстановлении информационного процесса из-за сбоев и отказов. Соответственно, минимальное время готовности $T_{\min}$ определяется при отсутствии сбоев и отказов. Таким образом, признаками ухудшения состояния работоспособной ППИ являются факты использования временного резерва и прироста использованного временного резерва по сравнению с предыдущим выполнением этой процедуры. Исходя из этих соображений, предлагается в разрабатываемой иерархической системе показателей использовать следующие единичные показатели состояния работоспособной ППИ, отражающие временной аспект ее функционирования: расход временного резерва $P_{вр}$ и прирост расхода временного резерва $P_{рвр}$. Численные значения этих показателей могут быть получены по следующим формулам:

$$P_{вр} = T_{\text{тек}} - T_{\min}; \quad (1)$$

$$P_{рвр} = T_{\text{тек}} - T_{\text{пред}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{тек}}$ – время, затраченное на выполнение текущей процедуры подготовки СЭП к использованию по назначению; $T_{\text{пред}}$ – время, затраченное на выполнение предыдущей процедуры подготовки СЭП к использованию по назначению.

Наряду с показателями, отражающими временной аспект функционирования ППИ, в систему единичных показателей предлагается внести следующие показатели, характеризующие деградационный аспект функционирования ППИ, связанный с уменьшением резервного запаса при отказах элементов ППИ и количеством зарегистрированных сбоев в процессе информационного обмена: расход структурного резерва $P_{ср}$ и плотность сбоев $P_{с}$. Для вычисления численных значений этих показателей предлагается использовать следующие формулы:

$$P_{ср} = \frac{K_o}{K_{\text{общ}}}; \quad (3)$$

$$P_{с} = \frac{K_c}{K_{\text{ио}}}, \quad (4)$$

где K_o – количество отказавших КПИ в ППИ; $K_{\text{общ}}$ – общее количество КПИ в ППИ; K_c – количество зарегистрированных сбоев; $K_{\text{ио}}$ – общее количество произведенных информационных обменов.

Рассмотренные единичные показатели характеризуют отдельные стороны состояния работоспособной ППИ. Для оценки состояния работоспособной ППИ в целом на основе объединенной совокупности единичных показателей предлагается использовать комплексный показатель уровня работоспособности U_p . Этот показатель строится на основе единичных показателей с помощью одного из способов агрегирования. При выборе модели

агрегирования единичных показателей необходимо учитывать целый ряд обстоятельств, связанных со спецификой предметной области. Получаемая оценка должна быть понятной и удобной для оперативного принятия решений. Поскольку оператор при принятии решений старается отходить от точечных числовых оценок, заменяя их качественными характеристиками состояния, выраженными на естественном языке (например, хорошее или удовлетворительное состояние), крайне важно количественную оценку значения показателя дополнить качественной оценкой. Это позволит исключить необходимость сопоставления оценок и произвольную интерпретацию в процессе принятия решений. Однако традиционные подходы к количественному анализу систем на основе статистических методов не позволяют получить адекватную оценку из-за отсутствия достаточного объема статистических данных об эксплуатационных процессах исследуемой СЭП, часть которых носит уникальный характер. Возникают сложности в описании и формализации областей качественных состояний, в задании их точных границ и получении комплексной оценки с учетом значимости разнородных параметров. В таких ситуациях информация о количестве, наименовании и приближенных оценках границ классов состояний, с приемлемой для практического применения точностью, может быть получена от экспертов-специалистов, компетентных в решении данной задачи на основе полученных знаний, имеющегося опыта и интуиции. Поскольку при классификации уровня значений входных параметров у экспертов вызывает затруднение в разграничении соседних классов состояний, то они обычно используют интервал на оценочной шкале, определяющий диапазон их неуверенности, т.е. оперируют нечеткими, размытыми границами между классами качественных состояний. В условиях неполноты исходных данных и нечеткости экспертных оценок для построения модели оценки состояния работоспособной ППИ предлагается использовать нечетко-множественный подход. Теория нечетких множеств позволяет преодолевать недостатки и ограничения традиционных методов оценки и дает возможность:

- проводить качественный анализ, включающий в себя элементы естественного языка;
- свести воедино всю имеющуюся неоднородную информацию: детерминированную, статистическую, лингвистическую и интервальную;
- формализовать нечеткую и использовать качественную экспертную информацию;

- оперировать с нечеткими, размытыми границами между классами качественных состояний оценок параметров и использовать лингвистические понятия;
- формировать оценку комплексного показателя с учетом различной значимости единичных показателей;
- получать не только количественную оценку выходного параметра модели, но и ее интерпретацию в виде качественной оценки, выраженной в форме лингвистического описания и степени оценочной уверенности в результате оценки, понятной и удобной при использовании в процессе разработки решений;
- согласовывать степень точности решения с требованиями задачи и точностью имеющихся данных;
- агрегировать разнородные показатели (как количественные, так и качественные), имеющие разные измерительные шкалы и диапазоны значений.

Для оценки состояния работоспособной ППИ с помощью математического аппарата теории нечетких множеств предлагается использовать нечеткую модель, основой которой является нечеткая классификация входных переменных модели $P_{вр}$, $P_{рвр}$, $P_{ср}$ и $P_{с}$, характеризующих состояние работоспособной ППИ, и алгоритм нечеткого вывода Такаги–Сугено 1-го порядка. Входные переменные модели определяются по формулам (1) – (4) на основе измеренных значений параметров в текущий момент времени. Нечеткие классификаторы, представленные в виде лингвистических переменных и разбивающие полное множество значений входных переменных на нечеткие множества, дают возможность получить качественную оценку состояния работоспособной ППИ по частным критериям расхода временного резерва, прироста расхода временного резерва, расхода структурного резерва и плотности сбоев. Используя алгоритм нечеткого вывода Такаги–Сугено 1-го порядка и нечеткий классификатор состояния работоспособной ППИ по комплексному критерию уровня работоспособности, можно получить соответствующую как количественную оценку U_p , так и качественную оценку, выраженную в форме лингвистического описания и степени экспертной уверенности в результате оценки.

НЕЧЕТКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Формализация нечеткой информации и приближенных рассуждений при распознавании текущего состояния работоспособной ППИ с использованием

ем аппарата теории нечетких множеств предполагает использование результатов обработки заключений экспертов, анализа имеющихся данных об эксплуатационных процессах исследуемой СЭП, опубликованных работ [7, 8] и учета рекомендаций, приведенных в них. При построении нечетких классификаторов сначала необходимо задать лингвистические переменные, т.е. выбрать наименования, упорядоченные множества всех возможных значений (терм-множества), представляющие собой наименования нечетких переменных на естественном языке, вещественный носитель (область определения), на котором заданы нечеткие переменные. Следует сразу отметить, что в процессе эксплуатации элементы и параметры классификаторов могут корректироваться при поступлении уточняющей информации и новых эмпирических данных. Для лингвистических переменных предлагается использовать следующие наименования и обозначения для обеспечения компактности дальнейшего описания:

$ЛП_1$ – оценка состояния работоспособной ППИ по частному критерию расхода временного резерва;

$ЛП_2$ – оценка состояния работоспособной ППИ по частному критерию прироста расхода временного резерва;

$ЛП_3$ – оценка состояния работоспособной ППИ по частному критерию расхода структурного резерва;

$ЛП_4$ – оценка состояния работоспособной ППИ по частному критерию плотности сбоев;

$ЛП_5$ – оценка состояния работоспособной ППИ по комплексному критерию уровня работоспособности.

В качестве возможных значений лингвистических переменных выбраны следующие упорядоченные наименования и обозначения термов: отличное состояние (ОС), хорошее состояние (ХС), удовлетворительное состояние (УС) и предотказное состояние (ПС). Поскольку входные переменные классификаторов имеют различные диапазоны возможных значений, то в качестве вещественного носителя нечетких переменных выбрана универсальная относительная шкала в виде единичного отрезка вещественной оси $[0, 1]$, требующая нормирования входных переменных $P_{ВР}$ и $П_{ВРР}$.

В качестве функций принадлежности того или иного нечеткого множества, которые необходимо поставить в соответствие с введенными выше термами, предлагается использовать треугольные и трапециевидные функции принадлежности, описывающие свойства множества, которое характеризуется неопределенностью типа «расположен в интервале».

На рис. 1–5 приведены четырехуровневые нечеткие классификаторы состо-

яния работоспособной ППИ по выбранным критериям.

Нечеткий классификатор представляет собой совокупность лингвисти-

ческой переменной, определенной на единичном отрезке вещественной оси $[0, 1]$, терм-множества ее значений, упорядоченный набор функций при-

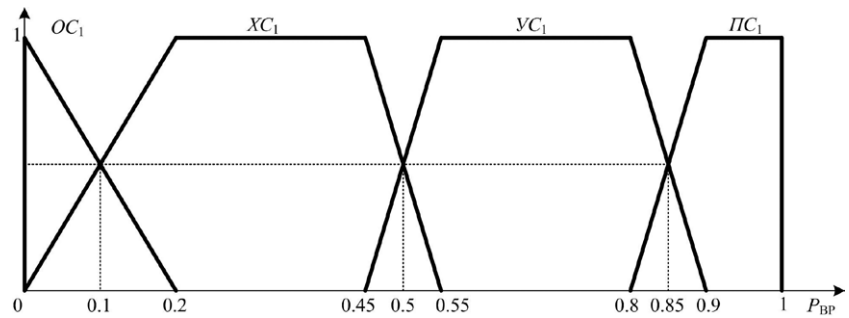


Рис. 1. Классификатор состояния работоспособной ППИ по критерию расхода временного резерва

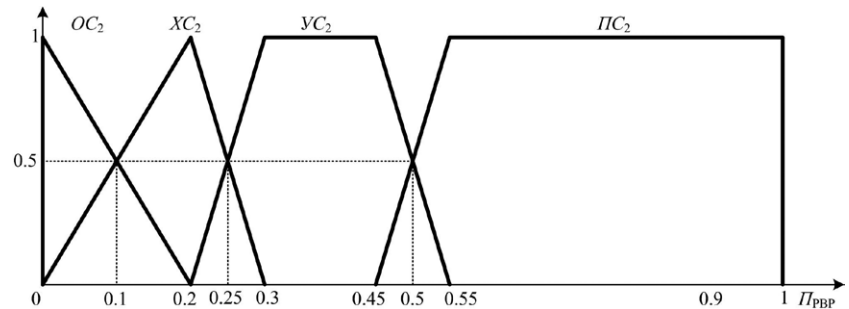


Рис. 2. Классификатор состояния работоспособной ППИ по критерию прироста расхода временного резерва

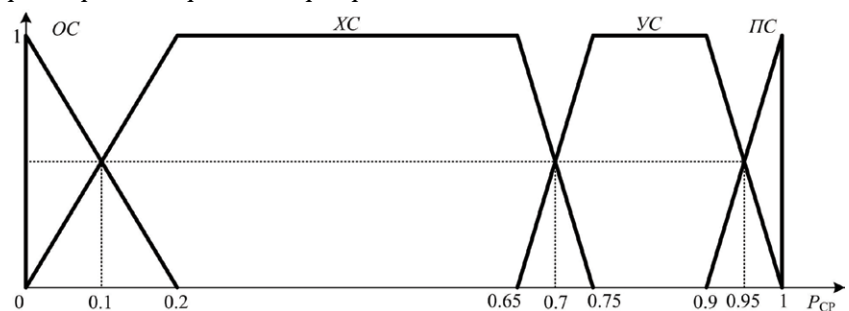


Рис. 3. Классификатор состояния работоспособной ППИ по критерию расхода структурного резерва

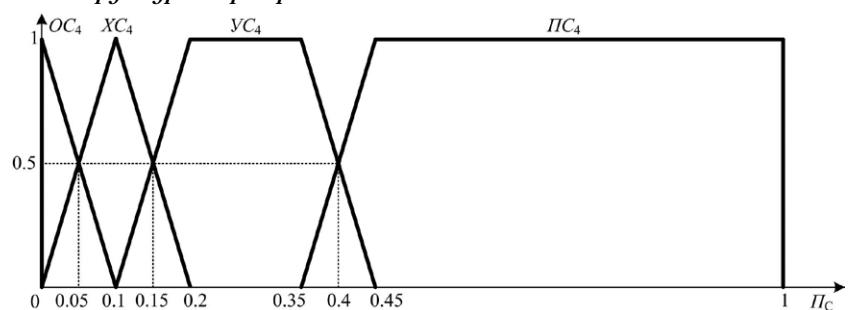


Рис. 4. Классификатор состояния работоспособной ППИ по критерию плотности сбоев

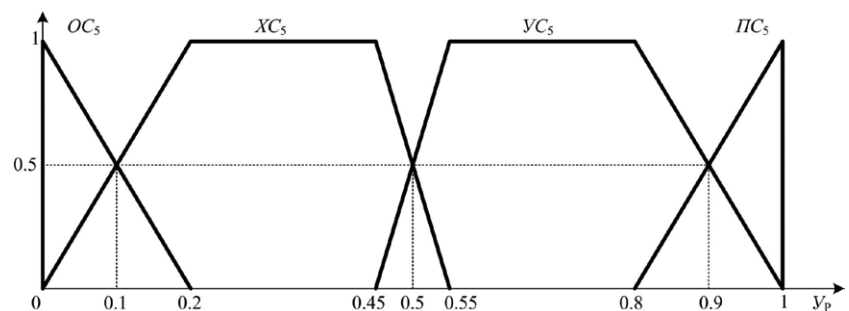


Рис. 5. Классификатор состояния работоспособной ППИ по критерию уровня работоспособности

надлежащие, описывающих возможные значения нечеткой переменной, заданных на соответствующем вещественном носителе.

Для получения количественной и качественной оценки состояния работоспособной ППИ предлагается использовать следующий алгоритм на основе модели нечеткого вывода Такаги–Сугено 1-го порядка, получившей наибольшее практическое применение и по достоинству оцененной специалистами:

Этап 1. Ввод исходных данных:

- $P_{BP}^*, P_{PBP}^*, P_{CP}^*$ и P_C^* – численные значения входных переменных;
- $ЛП_1, ЛП_2, ЛП_3, ЛП_4$ – входные лингвистические переменные, $ЛП_5$ – выходная лингвистическая переменная;
- $T(ЛП_1) = \{OC_1, XC_1, UC_1, PC_1\}, \dots, T(ЛП_5) = \{OC_5, XC_5, UC_5, PC_5\}$ – базовые терм-множества лингвистических переменных;
- базы нечетких продукционных правил, имеющих следующую структуру:
ПРАВИЛО 1: если « $ЛП_1$ есть OC_1 » и « $ЛП_2$ есть OC_2 » и « $ЛП_3$ есть OC_3 » и « $ЛП_4$ есть OC_4 », то
« $Y_{P1} = w_1^0 + w_1^1 P_{BP}^* + w_1^2 P_{PBP}^* + w_1^3 P_{CP}^* + w_1^4 P_C^*$ »;

..., ПРАВИЛО n : ЕСЛИ « $ЛП_1$ есть PC_1 » и « $ЛП_2$ есть PC_2 » и « $ЛП_3$ есть PC_3 » и « $ЛП_4$ есть PC_4 », то

« $Y_{Pn} = w_n^0 + w_n^1 P_{BP}^* + w_n^2 P_{PBP}^* + w_n^3 P_{CP}^* + w_n^4 P_C^*$ »,

где $w_j^0, w_j^1, w_j^2, w_j^3, w_j^4$ – весовые коэффициенты для заключения j -го правила ($j=1, n$), заданные на основе экспертных знаний и уточняемые в процессе обучения модели в соответствии с экспериментальными данными.

Этап 2. Фазификация (введение нечеткости) входных переменных.

Определение множества значений функций принадлежности для каждого из четырех подусловий всех правил базы нечетких продукционных правил. В качестве аргументов для функций принадлежности термов см. рис. 1–5) используются значения входных переменных $P_{BP}^*, P_{PBP}^*, P_{CP}^*$ и P_C^* .

Этап 3. Агрегирование подусловий по каждому нечеткому правилу.

Определение множества численных значений степеней истинности условий α_j по каждому из активных правил. Активными считаются правила, у которых степени истинности всех подусловий, отличны от нуля. В качестве метода агрегирования используется операция min-конъюнкции, так как во всех правилах в качестве логической связки для подусловий применяется только нечеткая конъюнкция. В качестве аргументов логической операции используются значения функций принадлежности для

каждого подусловия правила, вычисленные на этапе 2

Этап 4. Активизация заключений каждого правила из базы активных правил.

Вычисление численных значений выходных переменных Y_{Pj}^* для каждого j -го правила с использованием формулы для заключений (5):

$$Y_{Pj}^* = w_j^0 + w_j^1 P_{BP}^* + w_j^2 P_{PBP}^* + w_j^3 P_{CP}^* + w_j^4 P_C^*. \quad (5)$$

Этап 5. Дефазификация выходных переменных.

Определение численного значения переменной вывода Y_P^* методом центра тяжести для одноточечных множеств по формуле

$$Y_P^* = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j Y_{Pj}^*}{\sum_{j=1}^n \alpha_j}. \quad (6)$$

Этап 6. Классификация переменных $P_{BP}^*, P_{PBP}^*, P_{CP}^*$, P_C^* и Y_P^* .

Распознавание численных значений переменных осуществляется с помощью рис. 1–5 и формул, описывающих функции принадлежности. Результатом классификации являются качественные оценки состояния работоспособной ППИ по частным и комплексному критериям. Полученные оценки представляют собой лингвистические описания и степени оценочной уверенности в результате оценки, понятные и удобные при использовании в процессе разработки решений.

Далее рассмотрим на примере процедуру получения качественной оценки состояния работоспособной ППИ по комплексному критерию уровня работоспособности. Пусть в результате нечеткого логического вывода мы получили четкое значение переменной Y_P^* , равное 0,9. В соответствии с рис. 5 значение Y_P^* на 50% оценивается как удовлетворительное состояние и на 50% как предотказное состояние работоспособной ППИ.

Реализация предложенной нечеткой модели оценки состояния работоспособной ППИ в составе интеллектуальной системы поддержки принятия решений [9] СЭП позволяет автоматизировать процесс принятия решений при решении прикладных и исследовательских задач на различных этапах жизненного цикла. Совокупность оценок состояния ППИ по различным критериям может использоваться при анализе влияния экстремальных внешних воздействий и нагрузок, сравнении множества вариантов технических решений, настройке, регулировке, при проведении штатных проверок, техническом обслуживании и ремонте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана математическая нечеткая модель оценки состояния работоспособной ППИ СЭП ответственных объектов. Она отличается от известных моделей оригинальным процессом с использованием пяти нечетких классификаторов состояния работоспособной ППИ по частным критериям расхода временного резерва, прироста расхода временного резерва, расхода структурного резерва, плотности сбоев и комплексному критерию уровня работоспособности.

Полученные оценки дают возможность принимать обоснованные решения, направленные на предупреждение потенциальных отказов и предотвращение нештатных и аварийных ситуаций в условиях эксплуатации ответственных объектов, своевременно проводить восстановительные и предупредительные мероприятия, направленные на увеличение уровня ее работоспособности и обеспечение устойчивой работы, т.е. увеличения фактического ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубинский И.Б. Надежные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза // Надежность. – 2016. – 546 с.
2. Власов В.А., Маленин Е.Н., Янгусов А.В. Интеллектуализация системы электропитания космического аппарата // Информация и космос. – 2016. – №4. – С. 162–167.
3. Смирнов В.А., Подопрёкин Ю.Ф., Рудаков А.Н. Интеллектуализация систем электропитания высокоответственных объектов // Морской вестник. – 2022. – №2 (82). – С. 67–73. EDN NDBBSW.
4. Korshunov G.I., Smirnov V.A., Milova V.M. Multi-criteria fuzzy model for system technical condition estimation at the life cycle stages // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – IOP Publishing. – 2019. – Т. 537. – № 4. – С. 042019.
5. Smirnov V. A. Fuzzy model of fault finding in systems of responsible appointment. – 2019 International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, 2019, p. 1–6. EDN VLHDUN.
6. Смирнов В.А., Подопрёкин Ю.Ф. Оценка качества интеллектуальной системы для контроля технических объектов // Стандарты и качество. – 2021. – №8. – С. 98–103. EDN MLZGNB.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – БХВ-Петербург, 2005, с. 736.
8. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB // Горячая линия–Телеком. – 2007. – Т. 288. – С. 403.
9. Smirnov V. A. Intelligent decision support system for the control of complex technical systems. – IOP Conference Series/J. of Physics: Conference Series. 2019. – Vol. 1327. – № 1. – P. 012009. EDN QWJAZJ. ■

Развитие цифровой техники и аппаратуры передачи данных, сопровождаемое созданием программного обеспечения (ПО), открывает новые возможности использования вычислительных средств при решении прикладных информационных и управленческих задач, поддерживающих деятельность человека в различных областях его деятельности. Одно из направлений использования новых возможностей вычислительной техники – применение сетевых технологий в системах принятия решений и управления техническими средствами (ТС), создаваемых для надводных кораблей ВМФ, в том числе в комплексных системах управления техническими средствами (КСУ ТС). Привлекательной является идеология клиент-серверной архитектуры и ее использование в информационных системах для принятия решений и в КСУ ТС для организации рабочих мест операторов и их взаимодействия при эксплуатации ТС в различных режимах использования корабля.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Идеология клиент-серверной архитектуры относится к информационным системам коллективного пользования (СКП), которые в качестве вычислительных средств получили распространение в финансовых, проектных и многих других организациях. Основными признаками клиент-серверных СКП являются: электронно-вычислительная машина (ЭВМ) высокой производительности, именуемая сервером, и персональные ЭВМ, за которыми размещаются пользователи, именуемые клиентами (абонентами). Как правило, в СКП предусматриваются два сервера – основной и резервный, которые соединяют линией синхронной связи для поддержания резервного сервера в постоянной готовности к работе при отказе основного сервера.

Сервер содержит общие ресурсы, поддерживаемые всеми пользователями. На сервере размещаются, как правило, общие для всех пользователей справочные материалы, исходные данные и результаты их деятельности, представляемые файлами, которые составляют базу данных (БД), а также единое ПО, предназначенное для работы клиентов с БД. Пользователи по цифровым каналам подключаются к серверу, который обеспечивает хранение, обработку, ввод и вывод данных. В зависимости от объема ПО, загружаемого в постоянную (оперативную) память персональных ЭВМ, пользователи подразделяются на «тонкие», «средние» и «толстые» клиенты.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Б.В. Грек, д-р техн. наук, гл. конструктор КСУ,
С.Н. Сурин, канд. техн. наук, зам. ген. директора – директор по спецтемаке и автоматизации ЯЭУ,
АО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 707 5971

Примером информационной СКП клиент-серверной архитектуры является система повседневной эксплуатации (СПЭ), созданная для руководящего состава электромеханической боевой части (ЭМБЧ) в составе КСУ ТС [1]. Система предназначена для решения задач, основными из которых являются:

- хранение и корректировка справочных данных по составу и характеристикам запасных изделий и принадлежностей (ЗИП), горюче-смазочных материалов (ГСМ), аварийно-спасательного имущества (АСИ), средствам автоматизации и другим изделиям;
- контроль состояния, выдачи и пополнения ЗИП, ГСМ, АСИ и других расходных материалов;
- информационная поддержка технического обслуживания средств автоматизации и корабельных ТС в форме интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР).

Структурная схема СПЭ представлена на рис. 1 и является составной частью КСУ ТС. Основной и резервный серверы системы СПЭ размещаются в приборах внешних связей (ПВС-1 и ПВС-2) системы обмена данными (СОД), которая представлена двумя оптическими кольцами сети Ethernet (опт.). К серверам подключен коммутатор, к которому в свою очередь подключены четыре абонента информа-

ционной СПЭ, имеющие одинаковые рабочие места (ноутбуки).

Единое ПО, размещаемое на сервере, обеспечивает работу пользователей с общей БД, в том числе разделение доступа пользователей к БД, получение информации из БД, изменение данных в БД, хранение информации, актуализацию резервного сервера с таким же ПО в состоянии готовности к работе, алгоритмы решения других задач СПЭ. Программное обеспечение на каждом рабочем месте обеспечивает доступ пользователей к единой БД для решения задач СПЭ.

Отказ коммутатора в такой структуре ведет к срыву обеспечения решения задач повседневной эксплуатации ТС, однако принятая структура СПЭ обосновывается тем, что решение подобных задач не связано с использованием ТС в боевых режимах и аварийных ситуациях, а время восстановления работоспособности СПЭ зависит от замены отказавших изделий из состава ЗИП.

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СКП

Разновидностью СКП являются информационно-управляющие системы коллективного пользования (ИУСКП), обеспечивающие на основе сетевых технологий взаимодействие с объектами управления и контроля (ОУК). Для этого в составе сервера предусматриваются:

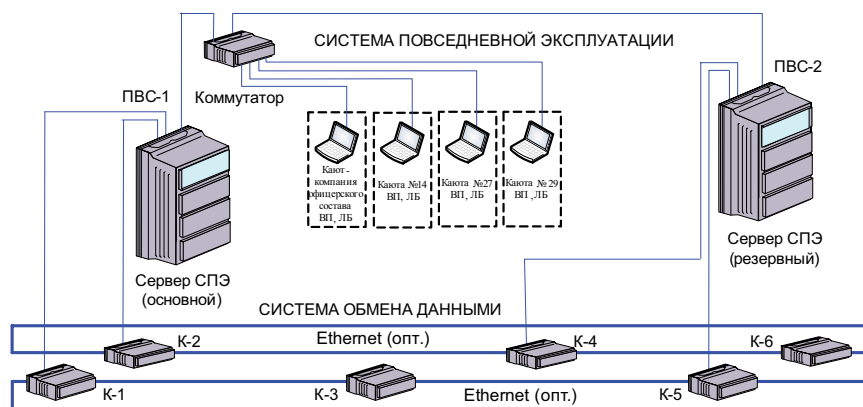


Рис. 1. Структурная схема системы повседневной эксплуатации

- коммутаторы для связи с клиентами по цифровым каналам;
- аппаратура связи с ОУК для приема и передачи цифровых, дискретных и аналоговых сигналов.

Клиенты и ОУК, у которых для подключения к серверам предусмотрены два канала связи, относят к первой категории, а при наличии одного канала связи – ко второй категории. По схеме подключения к серверам клиентов и ОУК, имеющих по два канала связи, различают ИУСКП с радиальной, кольцевой или смешанной структурой.

На рис. 2 представлен пример радиальной ИУСКП, в которой высокопроизводительная ЭВМ обозначена процессорным блоком, а клиенты и ОУК подключены к основному и резервному серверам по радиальной схеме, N – количество пользователей, K – количество ОУК.

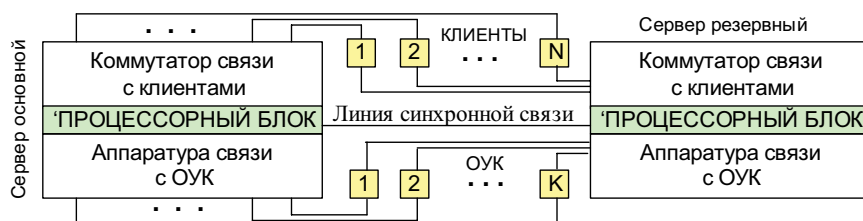


Рис. 2. Структурная схема радиальной ИУСКП с двумя серверами

Достоинством радиальной ИУСКП является независимый обмен данными каждого клиента и каждого ОУК с серверами по цифровым каналам связи через коммутаторы и соответствующую аппаратуру. Радиальная структура ИУСКП при отказе одного и более клиентов и кабелей, соединяющих их с серверами, обеспечивает обмен данными между оставшимися в работе «исправными» серверами, клиентами, ОУК и линиями связи между ними. Недостатком радиальной структуры ИУСКП являются многочисленные линии связи серверов с клиентами и ОУК.

На рис. 3 представлен пример кольцевой ИУСКП, в которой те же клиенты и те же ОУК подключены к основному и резервному серверам по кольцевой схеме.

Представленная на рис. 3 структура ИУСКП содержит два кольца обмена данными: верхнее содержит последовательно соединенные клиенты, нижнее кольцо – ОУК. Верхнее кольцо проходит через коммутаторы, а нижнее кольцо – через аппаратуру связи обоих серверов.

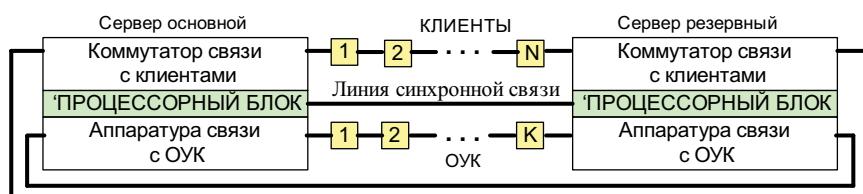


Рис. 3. Структурная схема кольцевой ИУСКП с двумя серверами

Достоинством кольцевой структуры ИУСКП является минимальное количество линий связи, соединяющих серверы с клиентами и ОУК, а также их протяженность, снижающие расходы на ее создание, недостатком – зависимость обмена данными от отказов клиентов, ОУК и линий связи между ними. Так, наличие двух отказов клиентов, ближайших к серверам, или линий связи в верхнем кольце между серверами, как показано на рис. 3, ведет к неработоспособности всех «исправных» клиентов ИУСКП – потере управляемости всей ИУСКП. Наличие двух отказов ОУК, ближайших к серверам, или линий связи в нижнем кольце между серверами, как показано на рис. 3, приводит к неработоспособности «исправных» ОУК и каналов передачи данных между ними, следовательно, к потере связи со всеми ОУК.

Смешанная структура ИУСКП является компромиссом и сочетает достоинства радиальных и кольцевых схем подключения к серверам пользователей и ОУК. Так, цифровые ОУК могут быть вынесены в отдельный контур с соответствующими коммутаторами. В составе ИУСКП смешанной структуры возможно наличие пользователей и ОУК с одним каналом передачи данных.

На сервере ИУСКП также размещается единое ПО, обеспечивающее передачу информации операторам от пользователей и ОУК, а также формирование управляющих воздействий в соответствии с функциональными алгоритмами по командам пользователей.

Для реализации ИУСКП клиент-серверной архитектуры в целях управления ТС корабля необходимо:

- обосновать структуру с общими для всех операторов СУ ресурсами;
- определить индивидуальные вычислительные ресурсы операторов СУ;
- сформировать единое для всех операторов ПО, загружаемое в сервер

и индивидуальное ПО для каждого оператора СУ;

- обеспечить равный (с приоритетом) доступ операторов к общим ресурсам.

СТАНОВЛЕНИЕ КОРАБЕЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Первые корабельные цифровые СУ ТС создавались по традиционному функциональному подходу с использованием иерархического принципа, в соответствии с которым центром притяжения является оператор функциональной системы, размещаемый за пультом управления (ПУ).

В качестве примера традиционного функционального подхода к управлению на рис. 4 представлена комплексная система управления ТС, в составе которой пять функциональных СУ: главной энергетической установки (ГЭУ), электроэнергетической системы (ЭЭС), общекорабельных систем (ОКС), движения (СУД) и центральная координирующая система управления (ЦКСУ) [2].

Управление ГЭУ, ЭЭС, ОКС, ТСД, а также координированное управление ТС осуществляется операторами с ПУ и прибора управления (СУ ОКС), в корпусах которых размещена цифровая аппаратура с алгоритмами (ПО) управления функциональными ТС. Функциональные ПУ, за исключением ЦКСУ, подключены к своим ТС (ОУК) через периферийные приборы, к которым относятся станции локальные технологические (СЛТ) и коробки соединительные (КС) со вторичными преобразователями. Периферийные приборы обеспечивают передачу параметров от ОУК к ПУ функциональных СУ и управляющих воздействий от ПУ к ОУК. Прибор управления СУ ОКС совмещен с СЛТ в одном корпусе для сокращения массогабаритных показателей (МГП) системы. В состав ЦКСУ входят сетевой принтер и два прибора центральных сети Ethernet (ПЦЕ) для подключения функциональных СУ по основному и резервному каналам управления.

Обмен данными в функциональных СУ ГЭУ, СУ ЭЭС и СУД между ПУ и СЛТ происходит по локальным сетям MIL STD 1553, а в СУ ОКС – по электрическим цепям через КС. Обмен данными ЦКСУ с СУ ГЭУ, ЭЭС, ТСД и ОКС осуществляется через ПУ и прибор управления (СУ ОКС) по сети Ethernet, обеспечивая координированное управление ТС с ПУ ЦКСУ.

Индивидуальность функциональных СУ ГЭУ, ЭЭС, ОКС и ЦКСУ подчеркивается на лицевых панелях ПУ, которые для перечисленных систем представлены на рис. 5. Из рисунка следует уникальность ПУ, которые разработаны

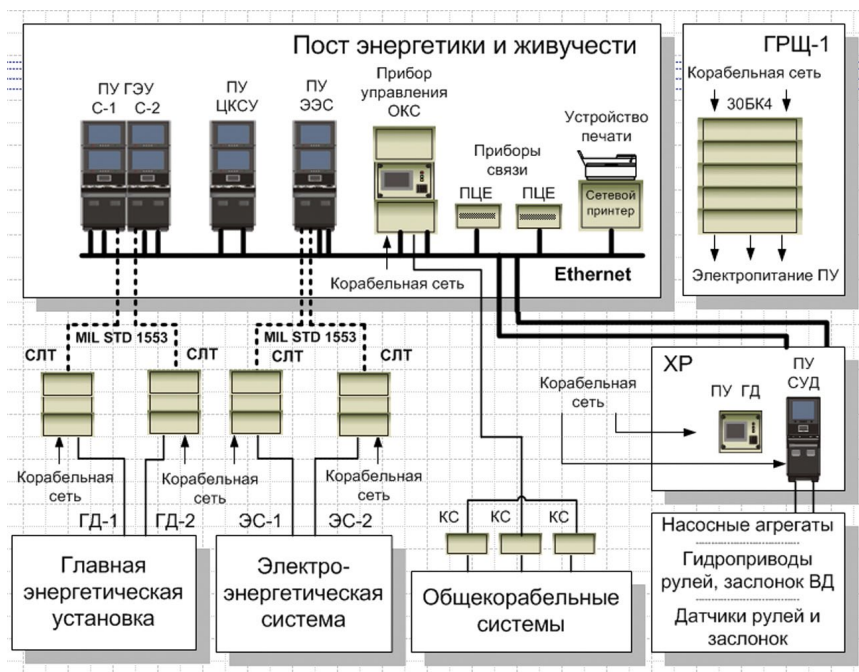


Рис. 4. Структурная схема КСУ ТС



Рис. 5. Внешний вид средств управления системами управления

под конкретные задачи постов управления. На лицевых панелях ПУ размещаются разнообразные средства индикации, контроля и управления – табло, кнопки, кнопки-табло, переключатели и другая аппаратура.

Достоинствами традиционного подхода к созданию КСУ ТС являются:

- независимость функционирования каждой функциональной СУ при отказах в других функциональных СУ;
- отсутствие повышенных требований к ресурсам вычислительных средств, размещаемых в приборах функциональных СУ (объем памяти, быстродействие).

К недостаткам рассмотренного традиционного подхода можно отнести:

- высокую трудоемкость разработки документации и изготовления функциональных СУ вследствие их различия;
- разнообразие ПУ, СЛТ и другой аппаратуры функциональных СУ;

- отсутствие резервирования ПУ в функциональных СУ, для исключения которого в ряде случаев применяют дублирование, ведущее к увеличению стоимости и МПП систем;
- различающиеся интерфейсы операторов в функциональных СУ;
- необходимость индивидуальной подготовки операторов в связи с различиями функциональных СУ по структуре, аппаратуре и интерфейсам.

Дальнейшее развитие КСУ ТС и автоматизации управления на основе сетевых технологий предусматривает следующие шаги:

1. Перенос функционального ПО (алгоритмы управления) систем из ПУ в СЛТ.
2. Объединение алгоритмов управления функциональными СУ в единое ПО для загрузки в СЛТ.
3. Разработка универсальных ПУ, СЛТ и других приборов систем.

4. Организация единой БД по управлению ОУК.

5. Создание единой системы обмена данными, структура которой обеспечивает повышенную отказоустойчивость СУ.

6. Обеспечение взаимозаменяемости рабочих мест операторов.

7. Формирование единого интерфейса для всех операторов СУ.

СОВРЕМЕННЫЕ КСУ ТС КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Современная КСУ ТС клиент-серверной архитектуры (КСА), структура которой представлена на рис. 6, отражает идеологию ИУСКП, основой КСУ ТС КСА является СОД, в составе которой два равнозначных оптоволоконных кольца (основное и резервное) размещаются на разных (по высоте) уровнях корпуса корабля, проходят через все отсеки и разделены на сегменты приборами ПЦЕ. Приборы ПЦЕ являются коммутаторами, к которым подключены вычислительные приборы СУ: ПУ, СЛТ, ЛСУ ГД, ЛСУ ДГ и другие цифровые абоненты. Абоненты первой категории подключаются через ПЦЕ к обоим кольцам СОД основными и резервными каналами связи. Абоненты второй категории подключаются к ближайшему ПЦЕ одним каналом связи.

Объектами управления и контроля в корабельной КСУ ТС КСА являются: электроприводы, клапана и другие исполнительные устройства; источники информации – датчики, дискретные, аналоговые и цифровые устройства. Через ЛСУ к СОД подключаются главные двигатели (ГД), дизель-генераторы (ДГ), компрессорные станции и другое оборудование.

Серверами в КСУ ТС КСА являются СЛТ, которые осуществляют связь с ОУК, сбор информации, функции управления и защиты, содержат единое ПО и единую БД, обеспечивают взаимозаменяемость рабочих мест операторов СУ и управляемость ТС.

Выбор структуры КСУ ТС КСА и приборов, их размещение, взаимодействие с функциональными СУ проводится таким образом, чтобы обеспечить управление ТС в повседневных условиях, боевых режимах и при борьбе за живучесть, используя оставшиеся в исправности оборудование и аппаратуру [3].

Неопределенность разрушающих воздействий требует размещения серверов КСУ ТС КСА, имеющих единые ПО и БД, во всех непроницаемых объемах корпуса корабля, выполнения СУ функций при частичных повреждениях аппаратуры и линий связи, обеспечения управляемости в изолированных по разным причинам отсеках корабля.

Среди пользователей в КСУ ТС КСА могут быть выделены:

- активные, представителями которых являются операторы за пультами управления – центральными (ЦПУ) и местными (МПУ);
- пассивные, которые являются только потребителями информации, например, экраны коллективного пользования (ЭКП), СПЭ, системы логической поддержки и другие внешние системы.

Для подключения к СЛТ клиентов и ОУК, количество которых в непроницаемом объеме корпуса корабля превышает возможности СЛТ-прибора с ограниченным количеством внешних разъемов, применяются СЛТ расширители (СЛТР), которые обеспечивают обмен данными с ОУК и подключаются к цифровым каналам СЛТ по радиальной или кольцевой схеме. Приборы СЛТР не содержат обработку информации и алгоритмы формирования управляющих воздействий СУ. Эти функции сохраняются за серверами КСУ ТС КСА.

Для примера на рис. 6 показано размещение СЛТР в отсеках 3, 4, 6 и 7.

Оба кольца СОД корабельной КСУ ТС КСА непрерывно находятся в работе и обеспечивают работоспособность абонентов сети, в том числе абонентов первой категории до трех отказов элементов СОД и линий связи между ними. При отказах элементов

КСУ ТС производится автоматическое деление структуры КСУ ТС КСА на сегменты с обеспечением работоспособности каждого сегмента структуры, содержащего исправную СЛТ. При восстановлении работоспособности отказавших элементов проводится автоматическая сборка структуры КСУ ТС КСА.

Объем автоматизации в КСУ ТС КСА, как правило, определен в объеме дистанционного автоматизированного управления, предусмотренного руководящими документами и техническими заданиями на разработку СУ. Использование ТС в такой структуре управления обеспечивает выполнение должностными лицами своих служебных обязанностей в обеспечение решаемых кораблем задач на рабочих местах, при несении дежурства и вахты в соответствии с инструкциями по боевому использованию ТС, эксплуатации ТС в повседневных условиях, аварийных режимах и послеаварийных ситуациях.

ВЫВОДЫ

1. Характерными признаками КСУ ТС клиент-серверной архитектуры является наличие СОД стандарта Ethernet, обеспечивающей обмен данными между основными абонентами: серверами – СЛТ с единым ПО, содержащими алгоритмы управления ТС, и пользователями – операторами функциональных

систем, осуществляющими контроль и выдачу заданий на формирование управляющих воздействий.

2. Структура КСУ ТС КСА обладает повышенной отказоустойчивостью за счет дублирования кольцевых линий передачи данных, разделенных на сегменты ПЦЕ, обеспечивающих работоспособность системы до трех отказов элементов и линий связи для абонентов первой категории за счет автоматической реконфигурации СОД.

3. Основу КСУ ТС КСА составляют универсальные ПУ с общим интерфейсом, СЛТ с единым ПО, ПЦЕ и другие приборы, обеспечивающие в реальном масштабе времени взаимодействие с ОУК, снижение разнообразия аппаратуры, удобство эксплуатации, взаимозаменяемость рабочих мест операторов СУ, сокращение ЗИП.

4. Количество серверов в КСУ ТС КСА зависит от мест приложения разрушающих воздействий, которые в общем случае являются неопределенными, следствием чего может быть равномерное размещение СЛТ по кораблю, например, по непроницаемым отсекам корабля.

5. Клиент-серверная архитектура обладает высокой модернизационной способностью и позволяет расширять функции КСУ ТС за счет виртуальности постов управления, аппаратура которых подключается к приборам ПЦЕ, и доработки единого ПО вычислительных приборов системы.

6. Унификация интерфейсов универсальных ПУ позволяет сократить время на подготовку операторов СУ, снизить расходы на их обучение и поддержание «моторных» навыков управления в процессе эксплуатации КСУ ТС КСА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилов К. Ю., Сурин С. Н., Грек Б. В. Опыт разработки перспективной комплексной системы управления техническими средствами // Морской вестник. – 2018. – № 3 (67). – С. 93–95.
2. Грек Б. В., Сурин С. Н. Комплексная система управления техническими средствами «Фауна» малого артиллерийского корабля «Астрахань» // Морская радиоэлектроника. – 2007. – № 2 (20). – С. 36–41.
3. Корабельный устав ВМФ РФ/МО РФ. – М., 2001. ■

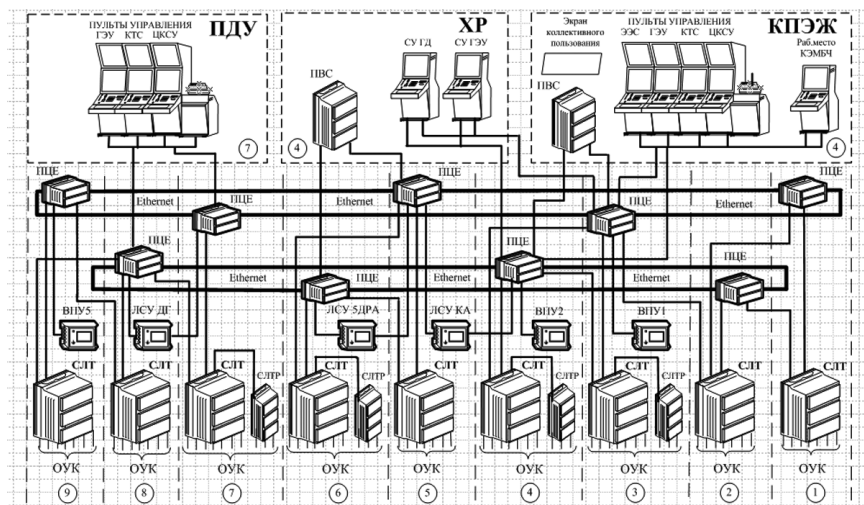


Рис. 6. Структура КСУ ТС клиент-серверной архитектуры

«Кораблевождение, кораблестроение и другие специальные науки имели своих исследователей теории; что же касается собственно морской специальности, то она с древних времен считалась делом не теории, а практики, и все детали вырабатывались исключительно практическим путем... Между моряками можно и по сие время встретить весьма опытных и заслуженных людей, которые считают, что морское дело не поддается теоретическим исследованиям и что надо все предоставлять опытности того, кому приходится работать на деле». Эти слова вице-адмирала С. О. Макарова [1] во многом не потеряли своей актуальности и спустя без малого сто двадцать лет. Несмотря на оснащение современных судов сложнейшими навигационными приборами и автоматизированными системами, и сейчас в Международных правилах предупреждения столкновений судов в море (МППСС) – основном документе, обязательном к применению всеми участниками и определяющем безопасность судоходства [2], остаются такие нечеткие, с точки зрения прикладной науки, понятия, как «обычная морская практика (the ordinary practice of seamen)», «хорошая морская практика (good seamanship)», «достаточное водное пространство (sufficient sea room)», «чрезмерное сближение (close-quarters situation)». А такие рекомендации, как «следует избегать (should be avoided)», «должно быть достаточно большим (be large enough)» или «предпринять заблаговременные действия (take early action)», – имеют явную отсылку к морской опытности, которую упоминал С. О. Макаров.

В этой связи справедливо звучит вопрос: так ли беспомощны современные научная и технологическая мысли, что не могут предложить никакого технического решения на замену человека-судоводителя или хотя бы на своевременную помощь ему при принятии решения. Особенно актуальным становится поиск ответа на вопрос сегодня, когда мировое морское сообщество, включая российскую его часть, намерено развивать автономное судовождение [3]. Если под судовождением понимать *процесс управления движением судна на основе непрерывного визуального или инструментального контроля за условиями плавания, курсом, скоростью, местоположением и состоянием судна* [4], то ответ на заданный вопрос сводится к решению задачи создания автоматической системы, обеспечивающей эффективность этого процесса. Существует мнение, что в такой формулировке задача может быть решена только на осно-

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СУДОВОЖДЕНИИ – ИГРА В ИМИТАЦИЮ? (ПО МАТЕРИАЛАМ ЗАРУБЕЖНЫХ И ОТКРЫТЫХ ИСТОЧНИКОВ)

А.Г. Родионов, ген. директор,
В.В. Ефимов, канд. техн. наук, доцент, директор по продвижению,
Ю.Г. Тварин, канд. воен. наук, доцент, директор департамента,
АО «Ситроникс КТ»,
контакт. тел. +7 (911) 753 4685, +7 (911) 988 4255, +7 (911) 177 9588



ве использования технологий искусственного интеллекта (ИИ). Каковы эти технологии, используются ли они в морской отрасли, действительно ли без них не обойтись в судовождении и, наконец, как оценить их эффективность в обеспечении безопасного судовождения – пробуем разобраться.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ

В 1951 г. американский математик и специалист по информатике Марвин Минский построил вычислительную машину, которая считается первым симулятором нейронных сетей [5]. Этот компьютер поддерживает принятия решений, имитирующий случайные нейронные связи (SNARC – The Stochastic Neural-Analog Reinforcement Computer), был основан на идее усиления синаптических связей, которые использовались в вычислениях, позволяя машине извлекать уроки из распределенных знаний вместо явно записанных в программу. В 1956 г. Джон Маккарти ввел понятие ИИ: *искусственный интеллект (artificial intelligence, AI) – свойство интеллектуальных систем выполнять*

творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека. В такой формулировке это определение можно встретить в ряде статей [6] и изданий до настоящего времени, например, в толковом словаре по ИИ [7]. С конца XX в. развитие ИИ набирало обороты главным образом из-за повышения доступности компьютеров и растущего интереса со стороны правительственных учреждений и частных компаний к финансированию программ и проектов, ориентированных на ИИ. К числу самых громких достижений на рубеже XX–XXI вв. можно отнести, например, компьютер IBM «Deep Blue», победивший чемпиона мира по шахматам в 1997 г. [8], автономный автомобиль с ИИ, построенный Стэнфордским университетом, выигравший в 2005 г. гонку DARPA Grand Challenge, пройдя по заранее неизвестной трассе в пустыне более 210 км [9].

В настоящее время стремительное развитие технологий ИИ сопровождается существенным ростом как государственных, так и частных инвестиций в их развитие, а также в разработку прикладных технологических решений на основе ИИ. По оценкам международных экспертов, ин-

вестиции в технологии ИИ выросли с 2014 по 2017 г. в три раза и составили около 40 млрд. долл. США. В 2018 г. мировой рынок технологических решений, разработанных на основе ИИ, составил 21,5 млрд. долл. США и, по прогнозам экспертов, к 2024 г. достигнет почти 140 млрд. долл., а рост мировой экономики благодаря внедрению таких решений составит не менее 1 трлн. долл. Сегодня технологии ИИ уже проникли во множество сфер человеческой деятельности: финансы и банковское дело, медицину и управление человеческими ресурсами, тяжелую и автомобильную промышленность, военное дело и развлечения, искусство и торговлю, автомобильный и железнодорожный транспорт. При этом появилось разделение ИИ на три вида: *слабый или узкий (Artificial Narrow Intelligence)*, *сильный или общий (Artificial General Intelligence)* и *супер-ИИ (Artificial Super Intelligence)*. Слабый представляет собой ИИ, который обучен и ориентирован на выполнение определенных задач. Это наиболее распространенный вид ИИ, используемый сегодня, и он охватывает большинство существующих технологий ИИ. Сильный ИИ представляет собой машину, обладающую интеллектом, подобным человеческому, и способную решать проблемы, учиться на них и планировать свое поведение заранее. Широкое использование технологий сильного ИИ специалисты прогнозируют не ранее 2075 г. А еще через 30 лет возможно появится технология супер-ИИ – машина, интеллект которой будет намного превосходить интеллект человека [10].

Взрывной рост возможностей технологий ИИ потребовал более осмысленного, целенаправленного подхода к их развитию и использованию в интересах обеспечения национальных интересов России и реализации стратегических национальных приоритетов. С этой целью указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490 утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. [11]. Этот документ, учитывая его ограниченные горизонты во времени, ориентирован и впервые дает следующее определение слабого ИИ: *искусственный интеллект – комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека*. Комплекс технологических

решений включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, программное обеспечение (в том числе в котором используются методы машинного обучения), процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений.

В обеспечение реализации Национальной стратегии [11] в 2019–2021 гг. утверждены и введены в действие несколько национальных стандартов Российской Федерации по ИИ, в том числе ГОСТ Р 59277–2020 «Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта» [12]. В нем, во-первых, уточняется определение ИИ из Национальной стратегии. К числу имитируемых когнитивных функций человека в дополнение к самообучению и поиску решения добавлено достижение инсайта, т. е. озарение – внезапное осознанное нахождение решения какой-либо задачи, ставшее результатом продолжительной бессознательной мыслительной деятельности. Во-вторых, стандарт определяет принципы и приводит схему классификации систем ИИ, отражающую их основные особенности для решения прикладных задач. Согласно этой схеме выделяют 12 групп оснований, по которым классифицируются системы ИИ:

- 1) по степени автономности;
- 2) по степени автоматизации;
- 3) по архитектурному принципу;
- 4) по видам деятельности;
- 5) по функциям в контуре управления;
- 6) по специализации;
- 7) по комплексности и сложности;
- 8) по методам обработки информации;
- 9) по управлению знаниями, моделям и методам обучения;
- 10) по методам достижения интеграции и интероперабельности;
- 11) по опасности последствий;
- 12) по конфиденциальности.

Каждая из этих групп оснований включает несколько классов верхнего уровня. В частности, в число классов верхнего уровня, объединяющих системы ИИ по методам обработки информации, включены:

- 1) нейросети;
- 2) обучение на примере;
- 3) эволюционные и генетические алгоритмы;
- 4) муравьиные алгоритмы;
- 5) иммунные вычисления;
- 6) глубокое обучение;
- 7) роевые вычисления;
- 8) метод Байеса;
- 9) уменьшение размерности;
- 10) природные вычисления;
- 11) мягкие вычисления;
- 12) кластеризация;

- 13) дерево решений;
- 14) регуляризация;
- 15) аналоговая обработка данных;
- 16) обработка Фурье-образов;
- 17) регрессия;
- 18) решение обратных задач;
- 19) система правил.

Очевидна практическая направленность и соответствующая польза введенной классификации для создания технических систем, решающих конкретные задачи в помощь или взамен человеку. Она не только наводит порядок в терминологии, но и снимает некий флер таинственности с самого ИИ, делая его более понятным как заказчикам, так и разработчикам систем на его основе. При этом в число представителей систем ИИ входят не только искусственные нейросети, как это зачастую представляется, но и системы, например, реализующие Байесовские методы машинного обучения. В простейшем случае это может быть система, решающая задачу восстановления по известным данным классической линейной регрессии [13], когда в процессе машинного обучения определяются смещение ω_0 и вес ω_1 одномерной линейной функции $y = \omega_0 + \omega_1 \cdot x$, а также доверительный интервал или апостериорное распределение на множестве значений регрессионной переменной. В данном случае, конечно же, не приходится говорить об озарении, но имитация таких когнитивных функций человека, как самообучение и поиск решения, присутствует.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В МОРСКОЙ ОТРАСЛИ

В морской отрасли внедрение ИИ увеличивалось постепенно в течение ряда лет, а недавно резко возросло. По прогнозам, в 2022 г. мировая морская отрасль потратит 931 млн. долл. США на решения в области ИИ. В ближайшие пять лет эта цифра увеличится более чем вдвое и к 2027 г. составит 2,7 млрд. долл. США, а совокупный годовой темп роста составит 23%. Такой быстрый рост обусловлен отчасти инвестициями в этот сектор. За последние 12 месяцев в стартапы, малые и средние предприятия, разрабатывающие ИИ-решения для морского сектора, был инвестирован 331 млн. долл., а еще 43 млн. долл. были выделены в виде грантов на разработку технологий для морского сектора по всему миру [10]. Варианты использования ИИ в морской отрасли весьма разнообразны и включают в числе прочего автономную навигацию. Кроме того, они могут поддерживать мониторинг судов, техническое обслуживание судового оборудования, включая управление его состоянием, совмест-

ную работу и поддержку удаленных инженеров, анализ данных об отказах и виртуальный ввод в эксплуатацию систем и оборудования.

В последние годы наблюдается тенденция увеличения инвестиций в разработку полностью автономных судов как со стороны государственного, так и частного секторов. Несколько инициатив, таких как финансируемый Европейским союзом проект AUTOSHIP [14] и проект правительства Японии DFFAS (Designing the Future of Full Autonomous Ship) – проектирование будущего полностью автономного судна [15], направлены на развитие автономного судовождения. А стартапы, например, как базирующаяся в Афинах компания Deepsea Technologies, используют систему ИИ на базе контролируемого машинного обучения, чтобы дать менеджерам флота возможность извлекать пользу из многочисленных данных и действовать на ее основе. Используя свою запатентованную технологию, Deepsea может предоставить менеджерам судоходных компаний информацию о загрязняющих выбросах, состоянии оборудования и общей производительности флота [16].

Компания Furuno Hellas, дочерняя компании японского производителя морской электроники Furuno, разработала цифровую систему HermAce, предназначенную для обеспечения удаленной технической поддержки и устранения неполадок судового навигационного и коммуникационного оборудования. Система HermAce собирает данные с различного оборудования и механизмов и автоматически анализирует их для диагностики, выявления и устранения неполадок, используя запатентованную модель на базе технологии цифрового двойника (Digital Twin). Цифровой двойник создает виртуальную копию оборудования ходового мостика, позволяя специалистам по техническому обслуживанию Furuno выполнять свою работу без физического присутствия на борту. Благодаря этой системе Furuno Hellas получила признание сертификационного общества Регистр Ллойда (Lloyd's Register – LR) в качестве поставщика услуг по управлению техническим состоянием систем на базе технологии цифрового двойника [17]. Сертификат под названием Digital Twin Ready означает, что система HermAce успешно прошла процедуру оценки LR, которая включала в себя изучение функций системы, реализованных в модели, разработку ее алгоритма, соответствие программного обеспечения и методов обеспечения информационной безопасности на всех этапах жизненного

цикла. Внедрение ИИ и улучшения, достигнутые в подключении к Интернету на борту судов, позволили Furuno Hellas продвигать цифровую трансформацию услуг по техническому обслуживанию судового оборудования.

Искусственный интеллект, очевидно, обладает потенциалом революционизировать морские операции и создать значительные конкурентные преимущества для тех компаний, которые его используют. Чтобы помочь заинтересованным сторонам в морской отрасли найти подходящих поставщиков ИИ и решения для их бизнес-задач, LR создал стандартизированный цифровой реестр сертифицированных поставщиков и решений ИИ – первый в своем роде для морской отрасли [18]. Используя этот ресурс, морские компании могут минимизировать риски и затраты, связанные с инвестированием в технологии ИИ, при этом успешно извлекая выгоду из достижений в этой области, улучшая бизнес-результаты и свои конкурентные преимущества.

Усилия отечественных разработчиков по внедрению ИИ в морскую отрасль экономики направлены, в первую очередь, на создание морских робототехнических комплексов (МРТК) [19]. Востребованность МРТК ожидается в следующих областях деятельности:

- патрулирование и мониторинг морских акваторий;
- исследование и освоение океанологических ресурсов государственных акваторий, сохранение минеральных и энергетических ресурсов Мирового океана;
- системы контроля за морским и речным транспортом;
- научные исследования;
- поисково-спасательные операции.

Другим направлением внедрения ИИ является рыбная отрасль. Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики сообщила о заключении договора со Всероссийским НИИ рыбного хозяйства и океанографии о намерении с помощью ИИ развивать рыбохозяйственный комплекс в этих регионах [20]. Не менее важным для отечественной морской отрасли является развитие портов и соответствующих услуг. В 2021 г. транспортная Группа FESCO, компания «БИНОМ» и один из мировых лидеров в области компьютерного зрения компания NtechLab приступили к реализации проекта «Умный и безопасный порт» в ПАО «Владивостокский морской торговый порт» [21]. Проект предусматривает создание в порту единой системы видеонаблюдения, мониторинга безопасности труда и транспорта

с общей биометрической базой. Также технологии ИИ позволят обеспечить удаленный доступ и возможность контролировать операционные процессы в порту в режиме реального времени. Интерес отечественных разработчиков к развитию технологий ИИ в интересах морской отрасли подтверждается увеличивающимся числом публикаций. Например, только в журнале «Морской вестник» за 2022 г., № 2 [22] две статьи посвящены интеллектуализации систем для морской отрасли, полученным результатам, трудностям и недостаткам этих решений.

НУЖЕН ЛИ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В СУДОВОЖДЕНИИ?

Если вернуться к приведенному ранее определению судовождения, то можно выделить, как минимум, три направления, в которых ИИ может и должен найти применение.

Первое направление – это визуальное наблюдение. Очевидно, что формулировка требований к судовождению визуального наблюдения на базе ИИ должна основываться на анализе того, когда – при наличии радиолокационной станции (РЛС), автоматической идентификационной системы (АИС), электронной навигационной информационной системы (ЭКНИС) – вахтенный офицер на ходовом мостике не может обойтись без визуального наблюдения обстановки невооруженным глазом, для чего использует оптический пеленгатор или берет в руки морской бинокль со специальной дальномерной сеткой.

Ответы на эти вопросы при анализе целевой обстановки дают МППСС, которые в интересах безопасности различают суда с механической установкой и без нее, длиной более или менее 50 м, на ходу или на якоре, занятые рыбной ловлей или тралением мин, водолазными или дноуглубительными работами, буксировкой лагом или толканием, ограниченные в возможности маневрировать либо лишенные возможности управляться. Для информирования об этих и других особенностях судов МППСС (часть С) предписывает им нести соответствующие знаки в виде фигур: шаров, ромбов, цилиндров в дневное время и соответствующие огни определенного цвета, яркости и угла видимости – в ночное время. А их размещение относительно корпуса судна должно показывать, например, ракурс относительно наблюдателя или особые ситуации: с какой стороны выставлены орудия лова или работает водолаз, т. е. с какой стороны расхождение с этим судном безопасно. Именно эту информацию вахтенный офицер по-

лучает при визуальном наблюдении, в первую очередь, в непосредственной близости от судна, а не на дальности горизонта, информацию, которую ограничены или не способны предоставить ему ни РЛС, ни АИС, ни ЭКНИС. Например, обнаружить ночью прямо по курсу рыбацкую лодку менее 7 м длиной, на которой для обозначения себя включен простой фонарик, что, кстати, предписано и разрешено МППСС.

При плавании вблизи берегов или по обозначенным средствами навигационного ограждения фарватерам вахтенный офицер использует оптические средства как обладающие большей точностью измерения направлений по сравнению с РЛС для контроля положения судна путем обсервации по нескольким пеленгам на береговые ориентиры. Для этого он руководствуется их известным из навигационных карт положением и визуальными характеристиками, указанными в описании огней и знаков, например, Балтийского моря [23]. Он визуально отличает буи, ограждающие стороны фарватера, от поворотных буюв, знаки сторон света на вехах, ограждающих подводные опасности.

В перечень ситуаций, когда *только* визуальное наблюдение обеспечивает безопасность судна, входят: оценка состояния моря – степень и характеристики волнения, наблюдение за условиями буксировки, входа в гавань, швартовкой, поиском и спасением.

Второе очевидное направление применения ИИ в судовождении – это контроль за состоянием судна и груза как единой системы с учетом морских условий. В настоящее время в связи со все большей автоматизацией и стремлением к уменьшению численности экипажей, вплоть до их полного отсутствия на борту, обеспечение безопасности плавания судов, включая морские автономные и дистанционно управляемые надводные суда (МАНС), становится наиболее острой задачей. Одним из факторов, влияющих на безопасность и препятствующих судоходству, является сильное волнение моря.

При плавании судна в штормовую погоду могут наблюдаться: уменьшение остойчивости, слеминг, бродинг, продольные или скручивающие напряжения, заливание носовой части судна и прием больших масс воды на палубу, смещение груза, периодическое оголение лопастей гребного винта, повышенная вибрация. Все эти проблемы связаны с воздействием волн на корпус и качкой судна, в первую очередь с ее основными видами: бортовой, килевой и вертикальной.

Анализ состояния аварийности судов показывает, что ряд аварий на морском транспорте вызван ошибками в управлении, связанными с неправильной оценкой состояния морского волнения, которая осуществляется судоводителями до сих пор преимущественно визуально. В результате происходят тяжелые аварии, сопровождающиеся человеческими жертвами и экологическими катастрофами.

Так, 23 октября 2006 г. в Японском море потерпел кораблекрушение и затонул теплоход «Синегорье». Погибли пять человек и пропали без вести двое. Основной причиной кораблекрушения признано ошибочное управление судном на попутном волнении, приведшее к попаданию судна в зону резонансной качки, периодическому резкому уменьшению его остойчивости на гребнях попутных волн и получению больших углов крена, вызвавших смещение груза. 1 июля 2012 г. в заливе Анива рыболовная шхуна «Аргонавт» получила крен на левый борт около 5 градусов. При циркуляции судна через левый борт крен увеличился до 25–30 градусов, палубу начала заливать вода, а затем крен стал критическим. Захваченное волной судно с креном развернуло лагом к волне. Судно затонуло. По мнению членов комиссии, капитан не следил за остойчивостью судна и неправильно оценил параметры морского волнения. 17 января 2021 г. у берегов Турции в акватории Черного моря переломился на волне и затонул сухогруз «Arvin». Четыре моряка погибли, шесть спасены, двоих не удалось найти. 11 марта 2021 г. следовавший из Ростова-на-Дону в Констанцу сухогруз «Волго-Балт 179» завалился на бок и впоследствии перевернулся, причиной стало сильное волнение на море.

В настоящее время существуют рекомендации по управлению судном в штормовых условиях и выбору безопасного курса и скорости. Международная морская организация (ИМО) выпустила руководство для капитанов по предотвращению опасных ситуаций в неблагоприятных погодных и морских условиях (MSC.1/Circ.1228) [24]. Остается действующим документ Министерства транспорта СССР РД 31.00.57–79 «Типовая информация об остойчивости и прочности грузового судна», в котором приводится инструкция по оценке неблагоприятного сочетания курса и скорости на регулярном и нерегулярном волнении. Департаментом морского транспорта Министерства транспорта Российской Федерации утвержден РД 31.00.57.2–91 «Выбор безопасных

скоростей и курсовых углов при штормовом плавании судна на попутном волнении» [25]. В этих документах предлагается использовать различные диаграммы, которые облегчают в штормовых условиях выбор безопасного курса, скорости и использование ходовых качеств судна. Однако их применять неудобно – судоводителям приходится выполнять оценку параметров волнения визуально и вычисления вручную.

Принятые в 2020 г. Российским морским регистром судоходства «Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов» [26] вводят понятие системы обеспечения ситуационной осведомленности и предъявляют к ней требования реагирования на изменение параметров окружающей среды и состояния судна. В числе этих параметров указываются: волнение моря, включая его период, скорость и курс движения МАНС с учетом углов дифферента и крена, осадки, бортовой и килевой качки. В то же время существующие руководящие документы и штормовые диаграммы не могут быть использованы для МАНС с категорией RC – удаленное управление или AC – автономное управление, где нет человека на борту, так как требуют присутствия судоводителя непосредственно на ходовом мостике судна.

Решить требуемую Российским морским регистром судоходства задачу ситуационной осведомленности о допустимых характеристиках движения МАНС в неблагоприятных погодных и морских условиях можно только путем разработки автоматической системы мониторинга мореходности и определения безопасного курса и скорости. С учетом большого числа одновременно анализируемых факторов эта задача посильна исключительно системе на базе ИИ.

Третье направление применения ИИ в судовождении – это обеспечение безопасного расхождения судов в районах интенсивного судоходства.

Создавая концепцию е-Навигации, разрабатывая и периодически корректируя стратегический план внедрения этой концепции в практику морской деятельности, ИМО опирается на выводы, сделанные в процессе формальной оценки безопасности (Formal Safety Assessment – FSA) в соответствии с методическими рекомендациями MSC-MEPC.2/Circ.12/Rev.2. В качестве одной из мер снижения рисков для судоходства была рекомендована интеграция навигационной информации. В результате усилия разработчиков судового оборудования в рамках е-Навигации были

направлены на то, чтобы различная навигационная информация доводилась все более централизованным способом, позволяющим представлять ее на соответствующих рабочих станциях, ориентированных на выполнение конкретных задач в составе интегрированной системы ходового мостика. Ожидалось, что это уменьшит нагрузку на судоводителя и облегчит управление судном, повысив тем самым уровень его безопасности (MSC.1/Circ.1595) [27].

Однако по мере разработки новых технологий, появления новых подходов и технических решений в области информационного взаимодействия участников морского движения, интеграция навигационной информации исключительно для ее визуального представления судоводителю вошла в противоречие с возможностями человека по восприятию и реагированию на объем и скорость изменения этой информации. Более того, его навыки, сформированные в условиях регламентированного ранее объема информации, оказываются несоответствующими возрастающей информированности и ситуационной осведомленности. Это приводит либо к игнорированию значительной части полезной информации, либо к несвоевременности или даже ошибочности действий по управлению судном.

Неразрешенность этого противоречия окажет уже в ближайшее время негативное влияние, в первую очередь, на обеспечение безопасного маневрирования и расхождения судов в условиях интенсивного судоходства. До настоящего времени эта задача решается средствами автоматической радиолокационной прокладки (САРП). Построение векторов относительного движения, автоматический расчет расстояния и времени кратчайшего сближения, отображение опасных секторов направлений движения и вычисление других количественных характеристик навигационной обстановки по известной информации о целях на момент вычисления считаются сегодня достаточными для безопасного расхождения судов согласно требованиям МППСС. Автоматическая идентификационная система, обязательная с 2008 г. для всех судов валовой вместимостью 300 и более, позволила объединять радиолокационную и АИС информацию. С одной стороны, это повысило достоверность отображаемых для судоводителя данных, с другой – задача безопасного расхождения судов по-прежнему решается не полностью автоматически и требует от человека учета еще большего объема информации и ее анализа. Если судоводитель

по той или иной причине пренебрегает этой информацией, то принимаемые им решения могут привести к навигационному происшествию и даже катастрофе. Ярким примером может служить гибель в 2018 г. норвежского фрегата «Хельге Ингстад» после столкновения с танкером «Sola TS» при входе в ночное время в оживленный Хельген-фьорд.

Современное состояние е-Навигации характеризуется практическим внедрением морских информационных сервисов, перечень которых представлен в стратегическом плане ИМО [27]. Международная ассоциация морских средств навигации и маячных служб (МАМС) в помощь заказчикам и разработчикам издала серии стандартов, которые должны быть либо использованы, либо приняты во внимание при разработке морских информационных сервисов. Международная электротехническая комиссия (МЭК) приступила к разработке стандартов в обеспечение технической реализуемости морских сервисов. Непосредственное отношение к безопасности судоходства имеет, например, сервис информирования о планируемом маршруте движения. С 2015 г. МЭК включила требования по использованию формата обмена схемами маршрута в стандарт требований к ЭКНИС (IEC 61174), а с марта 2021 г. действует общедоступная спецификация этого формата (IEC/PAS 61174-1) [28], предназначенная для его более широкого применения, например, для обмена планами маршрутов как между судном и судном, так судном и берегом для информирования берега о плане судна. Берег может рекомендовать маршрут, оптимизировать его и т. д. Все эти возможности, во-первых, предоставляются посредством облачного решения – международной морской коммуникационной платформы, тестовые сегменты которой уже функционируют в отдельных зарубежных акваториях, а с 2023 г. должен заработать ее российский сегмент в Восточной Балтике. Во-вторых, они реализуются отдельными техническими сервисами, связывающими в автоматическом режиме технические системы без участия человека, которые уже создаются отечественными разработчиками.

Очевидно, что предоставление информации судоводителю о предполагаемых маршрутах движения других судов только путем отображения на экране ЭКНИС или радара в графическом и/или табличном виде не только не упростит ему решение задачи расхождения, но и усилит противоречие между объемом информации и способностью ее правильно и свое-

временно использовать для принятия решения. При этом существующие САРП окажутся не вполне надежными помощниками, так как не способны воспринимать маршрутную информацию как прогнозируемую в интересах безопасности маневрирования. Также сегодня не существует проверенных математических методов решения задач безопасного маневрирования и расхождения судов, принимающих в качестве исходных данных не только текущие параметры движения целей, но и планируемые: координаты маршрутных точек, ожидаемые скорости, интервалы времени прохождения и пр., равно как и их изменение, что предусмотрено в формате обмена схемами маршрута. В связи с указанными обстоятельствами возникает научно-техническая проблема, решение которой, как представляется, невозможно без использования технологий ИИ.

КАК ОЦЕНИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СУДОВОЖДЕНИИ?

Существуют две трудности, упомянутые и в Национальной стратегии [10], которые могут стать препятствием для развития систем ИИ. Во-первых, для поиска вычислительной системой непредвзятого решения требуется ввести репрезентативный, релевантный и корректно размеченный набор данных для ее обучения. Во-вторых, алгоритмы работы ИИ крайне сложны для интерпретации и, следовательно, результаты их работы могут быть подвергнуты сомнению и отменены человеком. Отсутствие понимания того, как ИИ достигает результатов, является одной из причин низкого уровня доверия к современным технологиям ИИ. Первоочередной представляется разработка подходов к преодолению второй из этих двух трудностей, так как уже на этапе формулировки требований, т. е. еще до начала разработки, должен быть определен количественно и задан разработчику перечень параметров, достижение которых обеспечит необходимый уровень доверия к системе ИИ. Очевидно, что доверие определяется, в первую очередь, соответствием результатов работы системы потребностям и интересам ее заказчиков, пользователей, других заинтересованных лиц, т. е. тем, что называется эффективностью системы в широком смысле.

Впервые задумался над тем, как оценить эффективность вычислительной машины в имитации человеческого мышления, Алан Тьюринг в 1950 г. в статье «Вычислительные машины

и разум», остающейся и сегодня одной из самых издаваемых и обсуждаемых работ в области ИИ [29]. Обращает на себя внимание то, что подобных машин в тот момент еще не существовало, равно как и понятия «искусственный интеллект». Сформулировав вопрос «может ли машина мыслить?», Тьюринг предложил ответ на него получить в результате тестирования, названного им «игрой в имитацию». Суть этой игры состоит в том, что человек-исследователь, задавая вопросы неизвестному «игроку», должен принять решение: отвечает на вопросы человек или вычислительная машина. Имитация должна признаться эффективной, если исследователь допустит ошибку, основываясь на ответах машины.

Как показал опыт эксплуатации первой отечественной автономной навигационной системы, предназначенной для решения задач безопасного расхождения автономного судна с другими участниками морского движения [30], подход, аналогичный тесту Тьюринга, к оценке системы ИИ в судовождении, оказывается мало пригодным. Даже если в качестве независимых исследователей привлечь не одного, а несколько экспертов-судоводителей, вопрос: правильно ли рассчитан маневр расхождения? (читай: кто «игрок» – дипломированный судоводитель или машина?) – не получает объективного ответа, если в решении нет явной ошибки. Использование метода оценки эффективности систем ИИ в судовождении, основанного на субъективных мнениях экспертов в условиях ограниченного числа ситуаций, которые могут возникнуть в процессе даже продолжительной по времени опытной эксплуатации, невозможно обеспечить необходимое доверие к системе ИИ. Невозможность применения экспертного подхода для оценки эффективности систем ИИ в судовождении проистекает, в том числе, из-за использования в МППСС нечетких понятий и рекомендаций (рис. 1).

В то же время заменяющая человека система ИИ должна решить задачу расхождения судов в любой ситуации. А оценка эффективности должна обеспечивать объективной информацией о возможностях системы в интересах доверия к ее решениям.

Соотношение понятий «эффективность» и «доверие» к системе задается и государственными стандартами. Национальный стандарт [11] определяет доверие к системе ИИ как уверенность потребителя в том, что система способна выполнять возложенные на нее задачи с требуемым качеством. В свою очередь ГОСТ Р 59276–2020 «Системы искусственного интеллекта. Спо-

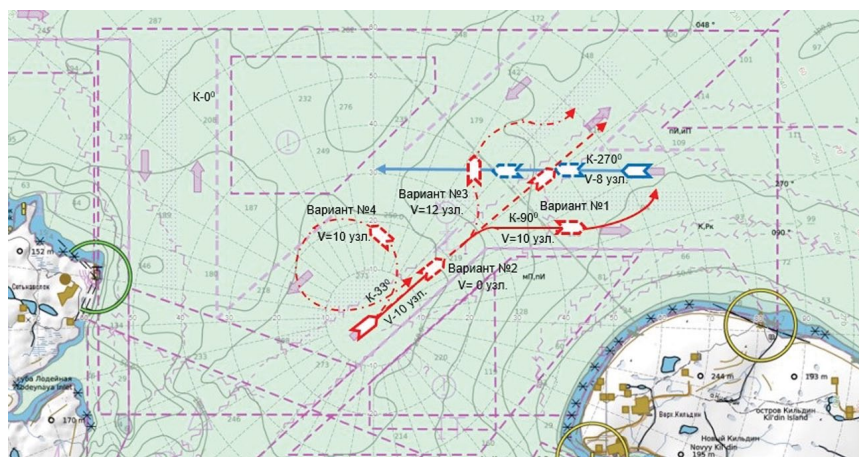


Рис. 1. Альтернативные варианты решения задачи безопасного расхождения судов при плавании по системе разделения движения на выходе из Кольского залива

собы обеспечения доверия. Общие положения» [31] вводит понятие существенных характеристик системы ИИ, совокупность которых определяет ее качество. К их числу стандарт относит и эффективность, однако, кроме общего определения, никаких рекомендаций по оценке эффективности не приводится. Поэтому одной из проблем на пути к доверию системам ИИ при решении задачи обеспечения безопасности маневрирования судов является отсутствие объективных, научно-обоснованных, состоятельных, единообразно понимаемых, вычислимых или измеримых показателей их эффективности. Отсутствие этих показателей сдерживает развитие и применение систем ИИ в судовождении, ограничивает или делает практически невозможным полное им доверие.

Здравый смысл, опирающийся на ранее приведенное определение слабого ИИ, позволяет применить подход к оценке эффективности системы на его основе, как к любой технической системе, предназначенной для решения конкретной задачи, и, соответственно, к выбору и обоснованию показателей. Этот подход, изложенный в справочнике «Надежность и эффективность в технике» [32], в упрощенном виде состоит в следующем. Основное требование к показателю эффективности – он должен соответствовать цели функционирования тех-

нической системы. Это соответствие обеспечивается следующим порядком выбора показателя. Для количественного описания соответствия реального результата функционирования Y требуемому $Y_{тр}$ формально вводится числовая функция на множестве возможных результатов

$$\rho = \rho\{Y(U), Y_{тр}\}, \quad (1)$$

которую называют функцией соответствия. Запись $Y(U)$ означает, что реальный результат зависит от условий U функционирования системы. В силу того, что $Y(U)$ может быть случайной переменной, функция соответствия также может быть случайной величиной (как числовая функция случайного аргумента). В качестве показателя эффективности $W(U)$ принимается математическое ожидание этой функции, т. е.

$$W(U) = M[\rho\{Y(U), Y_{тр}\}]. \quad (2)$$

В справочнике [32] приводятся формы функций соответствия и показатели эффективности, удовлетворяющие практически всем возможным целям функционирования технических систем. В таблице представлены те, что, как представляется, могут быть применимы при выборе показателей эффективности систем ИИ для судовождения.

Показатель должен обеспечивать оценку эффективности с позиций

Таблица

Формы функции соответствия и показателя эффективности

Требуемый результат	Функция соответствия	Показатель эффективности	Название показателя
Задан параметром $Y_{тр}$	$\rho = (Y(U) - Y_{тр})^2$	$M[(Y(U) - Y_{тр})^2]$	Средний квадрат отклонения результата от требуемого
$Y_{тр} = \max(\min) Y(U)$	$\rho = Y(U)$	$M[Y(U)]$	Средний результат
Случайное событие A	$\rho = \begin{cases} 1, & \text{если наступило } A \\ 0, & \text{если не наступило } A \end{cases}$	$M(\rho) = P(A)$	Вероятность случайного события

системы более высокого уровня, чем разрабатываемая. В случае с системой ИИ для судовождения системами более высокого уровня являются, как минимум, автономная навигационная система, центр дистанционного управления МАНС, центр системы управления движением судов (рис. 2).

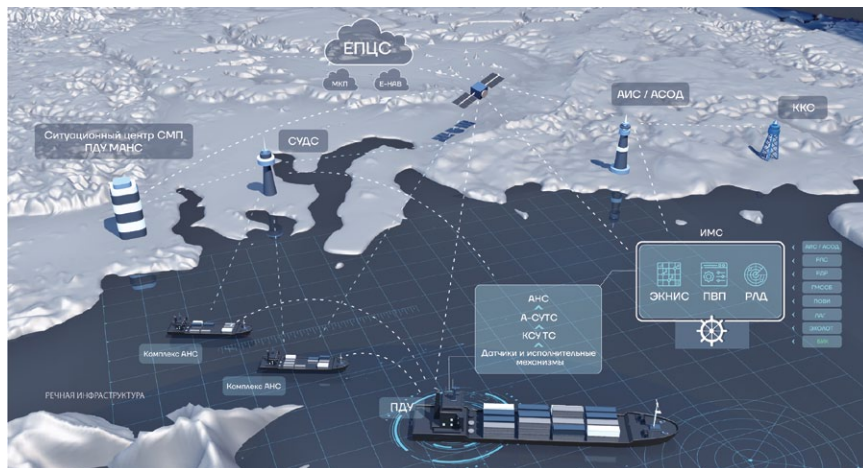


Рис. 2. Судовые, береговые системы и морские цифровые сервисы в единой экосистеме

Системами более высокого уровня могут быть не обязательно технические системы, но и, например, системы правил, те же МППСС. Поскольку список таких систем может быть продолжен, а требований каждой из них может быть несколько, то и показателей эффективности функционирования системы ИИ для судовождения должно быть сформулировано достаточное количество. Причем это количество не является ограниченным.

Например, если одна из целей безопасного расхождения судов формулируется как расхождение на заданной дистанции кратчайшего сближения $D_{кр}$, то, эта дистанция есть требуемый результат функционирования системы ИИ, а показателем эффективности является средний квадрат отклонения фактической дистанции расхождения при различных ситуациях $D(U)$ от требуемой, т. е. математическое ожидание $M[(D(U) - D_{кр})^2]$.

Другой пример. Согласно правилу 9(а) МППСС судно, следующее вдоль узкого прохода или фарватера, должно держаться внешней границы прохода или фарватера, которая находится с его правого борта настолько близко, насколько это безопасно и практически возможно. В этом случае для оценки эффективности управления судном системой ИИ требуемый результат может быть задан как минимизация отклонения ΔR от внешней правой границы фарватера $Y_{тр} = \min \Delta R(U)$, а показатель эффективности формулируется как средний результат $M[\Delta R(U)]$. Одновременно можно требовать исключения случаев

пересечения правой границы фарватера. Тогда требуемый результат можно представить, как случайное событие A , наступление которого нежелательно. Функция соответствия в этом случае вводится как бернуллиева переменная, которая может принимать (см. таблицу) только два значения: 0 – гра-

ница фарватера не пересечена или 1 – граница фарватера пересечена, а показателем эффективности является математическое ожидание функции соответствия – вероятность события A , т. е. вероятность пересечения правой границы фарватера.

Для того, чтобы числовая функция (2) могла рассматриваться в качестве показателя эффективности, помимо соответствия цели она должна быть измеримой или вычислимой. Очевидно, что выполнение этого требования должно обеспечиваться разработкой методики вычисления (измерения) показателя эффективности, которая позволяет получить его численное значение для оценки по количественной шкале, отражающей степень выраженности у технической системы требуемого свойства. Реальный результат функционирования технической системы может быть представлен либо как фактический, либо как ожидаемый. Фактический результат достигается при оценке эффективности в ходе или по окончании разработки, например, в результате испытаний или опытной эксплуатации. Если же оценка эффективности осуществляется до начала разработки, то реальный результат является ожидаемым. В последнем случае, т. е. на этапе формулировки требований, очевидно, что разработка методик вычисления показателей эффективности систем ИИ как ожидаемых должна включать разработку стохастических имитационных моделей управления судном в различных условиях судовождения.

Но и когда требуется получить количественную оценку показателей эф-

фективности системы ИИ уже в процессе испытаний, т. е. оценить фактический результат ее функционирования, не обойтись без стохастических имитационных моделей. Тут вновь можно упомянуть Тьюринга. Работая во время Второй мировой войны над дешифровкой немецких сообщений, закодированных машиной «Энигма», он понял, что против машины должна применяться другая вычислительная машина, а не коллектив криптографов. Такая машина «Bombe» была создана и успех был достигнут [33]. Представляется, что аналогия с этим примером из прошлого вполне уместна и в случае с оценкой эффективности системы ИИ, созданной в интересах судовождения. Иными словами, количественную оценку всей совокупности показателей эффективности системы ИИ для судовождения невозможно получить в реальных условиях испытаний с привлечением даже многочисленной группы экспертов-судоводителей. Эта задача посильна только специально разработанной вычислительной системе, реализующей стохастическую имитацию всевозможных ситуаций, включая те, что в реальности крайне редки, но характеризуются повышенной опасностью при судовождении. Также представляется, что использование такой системы было бы желательным и для обучения ИИ.

Таким образом, ранее упомянутые трудности, препятствующие развитию систем ИИ для судовождения: формирование данных для обучения и достижение необходимого уровня доверия, обе могут быть преодолены созданием специальных систем, реализующих, как бы, новую «игру в имитацию», где вычислительная машина не только «игрок», но и «исследователь».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Скорость развития и внедрения технологий ИИ не оставляет выбора предприятиям в решении вопроса, каким путем и в каком направлении развивать свои компетенции. Если в обозримом будущем ИТ-компания, работающие на рынке морских систем и услуг, не смогут предложить заказчикам решение их проблем на базе систем ИИ, то их продукция окажется неконкурентоспособной и невостребованной. Судовладельцы, не внедряющие решения на базе технологий ИИ, будут ограничены в управлении флотом и предоставлении конкурентных услуг заказчикам. Предприятия, которые не смогут освоить, развить и внедрить технологии ИИ, ждет незавидная участь угасания и небытия.

2. Морской транспорт как отрасль экономики и судовождение как его важнейшее звено, несмотря на свою

кажущуюся консервативность и приверженность многовековым традициям, достаточно быстро и уверенно начинают опираться на вновь появляющиеся перспективные технологии. Широкое внедрение систем е-Навигации, разработка морских информационных сервисов, развитие автономного судовождения неизбежно приведут к необходимости создания разнообразных морских систем на базе технологий ИИ. Уже сейчас могут быть сформулированы задачи по повышению экономической эффективности и безопасности судовождения, которые способны решить системы ИИ. Надо только внимательно рассмотреть.

3. В рамках Национальной стратегии развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. и с опорой на существующие государственные стандарты можно предложить технические решения по созданию систем на базе слабого или узкого искусственного интеллекта, решающие конкретные задачи обеспечения безопасного и эффективного судовождения. При этом основными трудностями, препятствующими развитию таких систем ИИ, будут сложности формирования данных для обучения и достижение необходимого уровня доверия.

4. Разработка методического аппарата и систем для испытаний технологий ИИ в судовождении – самостоятельная научно-техническая задача. Она может быть решена с использованием известного, хорошо разработанного и апробированного подхода к оценке эффективности технических систем, решающих конкретные задачи автоматизации различных процессов. Основой для получения количественной оценки показателей эффективности систем ИИ в судовождении должна стать стохастическая имитация процесса управления судном. Разработка систем, реализующих стохастическое имитационное моделирование судовождения, должна обеспечить репрезентативную имитацию всевозможных ситуаций, включая те, что в реальности крайне редки, но характеризуются опасностью значительной тяжести последствий. Эти системы могут быть использованы не только для количественной оценки показателей эффективности, но и для обучения искусственного интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров С. О. Рассуждения по вопросам морской тактики. – С.-Петербург, 1904.
2. Международные правила предупреждения столкновений судов в море, 1972 г. (МППСС-72). – 5-е изд., испр. – М: МОРКНИГА, 2013. – 156 с.
3. Проект-маяк «Автономное судовождение» (протокол совещания у Первого заместителя Председателя Правительства Российской Федерации от 31.07.2021 г. № АБ-П13-163пр).
4. Большая советская энциклопедия. – Т. 25. – Интернет ресурс <http://bse.uaio.ru/BSE/2501.htm>, дата обращения 06.07.2022.
5. Интернет ресурс <https://web.media.mit.edu/~minsky/minsky.html>, дата обращения 06.07.2022.
6. Интернет ресурс https://ru.wikipedia.org/wiki/Искусственный_интеллект#cite_note-macarti-2, дата обращения 07.07.2022.
7. Аверкин А. Н., Гаазе-Ранопорт М. Г., Поспелов Д. А. Толковый словарь по искусственному интеллекту. – М.: Радио и связь, 1992. – 256 с. Интернет версия: <http://www.raai.org/library/tolk/aivoc.html#L208>, дата обращения: 07.07.2022.
8. Интернет ресурс <https://www.sports.ru/tribuna/blogs/interval/2866672.html>, дата обращения 07.07.2022.
9. Интернет ресурс <https://news.stanford.edu/news/2005/october12/stanleyfinish-100905.html>, дата обращения 07.07.2022.
10. *Evan Palmejar & Nick Chubb. THE LEARNING CURVE. The state of artificial intelligence in maritime. Thetius – LR report, 2022.*
11. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года.
12. ГОСТ Р 59277–2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта.
13. Ветров Д. П., Кропотов Д. А. Байесовские методы машинного обучения. – М: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. Интернет версия: <https://bayesgroup.github.io/bmml/2016/BayesML-2007-textbook-1.pdf>
14. Интернет ресурс <https://www.autoship-project.eu/>, дата обращения 19.08.2022.
15. Интернет ресурс <https://inf.news/en/tech/6f8ccd62fc67ced2a958cd02cf239ec7.html>, дата обращения 19.08.2022.
16. Интернет ресурс <https://www.deepsea.ai/>, дата обращения 19.08.2022.
17. Интернет ресурс https://www.furuno.co.jp/en/news/general/general_category.html?itemid=953&dispmid=961, дата обращения 19.08.2022.
18. Интернет ресурс <https://www.lr.org/en/latest-news/lloyds-register-launches-industry-first-artificial-intelligence-register/>, дата обращения 31.08.2022.
19. Маевский А. М., Кожемякин И. В. Применение систем искусственного интеллекта в морской робототехнике: мировой уровень и возможности развития в РФ. – Интернет ресурс https://oceanos.ru/s1/files/File/2021_MorSys_ai.pdf, дата обращения 07.09.2022.
20. Интернет ресурс <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/iskusstvennyy-intellekt-pomozhet-v-razvitii-rossiyskoy-rybnoy-otrasli>, дата обращения 07.09.2022.
21. Интернет ресурс <https://lenta.ru/news/2021/09/02/ntechlab/>, дата обращения 07.09.2022.
22. Морской вестник. – 2022. – №2 (82).
23. Admiralty List of Lights and Fog Signals. – Vol. C. Baltic Sea / UK Hydrographic Office.
24. IMO MSC.1/Circ.1228 «Revised guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions», 11 January 2007.
25. РД 31.00.57.2–91. Выбор безопасных скоростей и курсовых углов при штормовом плавании судна на попутном волнении. – М.: Минтранс РФ, 1993.
26. НД № 2-030101-037 Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых судов (МАНС). – СПб: Российский морской регистр судоходства, 2020.
27. Стратегический план по внедрению е-Навигации – обновление 1, MSC.1/Circ.1595, 25 May 2018.
28. Спецификация МЭК: IEC/PAS 61174-1, Edition 1.0, 2021-03, Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Part 1: Route plan exchange format (RTZ) – General requirements, methods of testing and required test results.
29. Вычислительные машины и разум / Алан Тьюринг / Пер. с англ. К. Королева. – М.: АСТ, 2021.
30. Материалы ОКР «БЭС-КФ»: Отчет об опытной эксплуатации. – АО «СИТРОНИКС-КТ», 2022.
31. ГОСТ Р 59276–2020. Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения.
32. Надежность и эффективность в технике: Справочник. – В 10 т./Ред. совет: В. С. Авдеевский и др. – Т. 3: Эффективность технических систем/Под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
33. Наука. Величайшие теории. – Вып 15: Размышления о думающих машинах. Тьюринг. Компьютерное исчисление / Пер. с исп. – М.: Де Агостини, 2015. ■

Функционирование интеллектуальных систем поддержки принятия решения (ИСППР) в реальном времени обеспечивается при непрерывном изменении параметров динамического объекта (ДО) и внешней среды. Один из возможных путей решения этой проблемы – построение системы на основе алгоритмов и механизмов восприятия и действий оператора, воздействующих на формирование оперативного образа. Построение оперативного образа обстановки происходит на основе концептуальной модели. Материальным носителем знаний, содержащихся в концептуальной модели, является долговременная память (ДП) оператора [1].

Если создать модель ДП оператора на основе имеющихся знаний об объекте управления и правил, по которым осуществляется управление, а также отразить механизм взаимодействия между моделью ДП и внешней средой, в качестве которой будут выступать различными образом организованные средства отображения информации (СОИ), можно смоделировать деятельность оператора, соответствующую различным режимам работы объекта управления. При этом очевидно, что соответствие модели реальной деятельности оператора будет тем выше, чем полнее будут отражены хранимые в памяти оператора знания и чем более всесторонне учтены все многочисленные нюансы функционирования различных механизмов взаимодействия знаний в памяти оператора.

Кратко рассмотрим основные положения информационного подхода к механизмам памяти, лежащего в основе методов моделирования интеллектуальной деятельности оператора.

В рамках информационного подхода модель системы переработки информации человеком имеет вид, представленный на рис. 1. Приведенная схема отражает в общих чертах то, что происходит с информацией о каком-либо стимуле, поступившем из «реального мира» (например, от СОИ), при его прохождении через систему. При этом под системой подразумевается человеческая память, перерабатывающая информацию.

На первом этапе, непосредственно после предъявления стимула, известное количество информации относительно этого стимула регистрируется или вводится в систему сенсорным регистром (СР).

Информация может некоторое время оставаться в нем, но чем дольше она там остается, тем слабее становится след, пока, наконец, он не исчезнет полностью. В то время, пока информация находится в СР, вступает в действие ряд важных процессов. Один из них, обозначенный на схеме стрелкой «1», – это распознавание образов, сложный процесс, возникающий в результате контакта между

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АНАЛИЗА ОПЕРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОПЕРАТОРОМ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ТОПОЛОГИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

А.А. Ланидус, докторант ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,

А.А. Кутенев, зам. гл. инженера АО «ЦМКБ «Алмаз»,

А.Ю. Петров, науч. сотрудник ВМПИ ВУНЦ ВМФ

«Военно-морская академия»,

контакт. тел. +7 (909) 589 4744, +7 (911) 770 5729, +7 (911) 813 1772

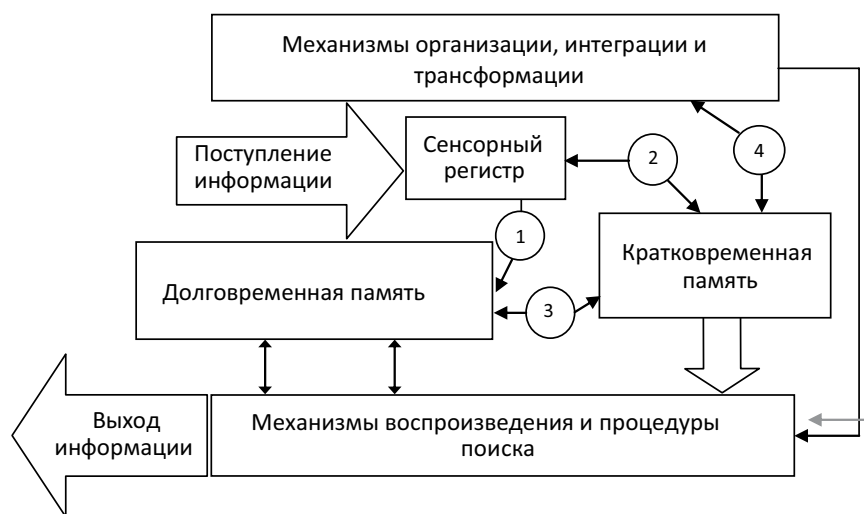


Рис. 1. Модель системы переработки информации человеком

информацией, находящейся в СР, и информацией, накопленной в прошлом. В результате возникает структурированное описание признаков созданного периферическими сенсорными системами следа стимула, позволяющее отнести его к системе знания в памяти.

Другой процесс, обозначенный на схеме стрелкой «2», заключается в том, что описание признаков вместе с их семантическим кодом поступает в кратковременную память (КП). Таким образом, в КП находится информация и о сенсорных характеристиках стимула, и о его семантическом коде, которая может взаимодействовать с предшествующей и последующей порциями информации. Это взаимодействие можно представить в виде следующих процессов:

- 1) сравнение одновременно находящихся в памяти сведений для установления связей между ними;
- 2) поиск дополнительной информации в ДП, обеспечивающей интеграцию предъявленного материала или его дополнений;

3) выполнение операций вывода для получения новой информации и формирования схем, обеспечивающих восприятие ожидаемой информации, и т.п.

В КП осуществляется управление механизмами концентрации внимания, активации образных представлений при ожидании определенных стимулов, обусловленное контекстом семантическое кодирование, выбор уровня абстракции при установлении понятийной принадлежности, подготовка стратегий организации воспринимаемой информации и т.д. Действующие в системе КП механизмы взаимодействия изображены на рис. 3 стрелками «2», «3» и «4». Через механизм «2» происходит воздействие на описания признаков в СР. Механизм «3» связывает информацию из ДП с предъявленной информацией. Механизм «4» реализует стратегии организации информации. Считается, что воспроизведение информации из памяти обеспечивается особыми механизмами, причем имеющаяся в КП информация воспроизводится непосредственно, без специальных усилий.

В настоящее время можно считать доказанным, что семантическое кодирование осуществляется уже в КП [2–3]. Ресурсы механизмов, связанных с семантическим кодированием и организацией внешних стимулов, ограничены, и одновременно могут обрабатываться только незначительное число стимулов, при этом феномен кратковременного хранения является непосредственным следствием процедур переработки и их ограниченности [4]. Объем КП определяется не количеством запоминаемых стимулов, а числом одновременно обрабатываемых единиц кодирования, которыми могут быть буквы, слова, предложения, последовательности предложений или рисунков и т. п. Семантическая организация последовательностей событий удается человеку не потому, что предъявленные единицы информации одновременно находятся в КП, а в силу того, что когнитивные ресурсы достаточны для одновременной обработки более чем одной единицы. В результате воспринятые друг за другом фрагменты информации одновременно сохраняются в состоянии активности и сопоставляются между собой, объединяются и преобразуются в тесной связи с содержанием ДП.

Информация из КП может переводиться на более глубокие уровни системы (процесс «3» на рис. 1), где она может сохраняться практически бесконечно, в так называемую ДП. Знания об объекте управления и о законах управления, которые хранятся в ДП оператора, можно представить в виде совокупностей фреймов, именами которых являются структурные элементы систем [5–7].

Фрейм – обобщенная система данных, хранящихся в ДП и содержащая различные виды информации о часто встречающихся сценах и ситуациях. Это сложная информационная структура, представляющая собой сеть узлов и отношений, вызывается из памяти благодаря тому, что верхние уровни ее (имена фреймов) фиксированы и служат «адресом» при вызове. Конкретные данные, полученные при обзоре воспринимаемой сцены, помещаются в ячейки (терминалы) нижних уровней фрейма. Для этого следует соблюсти необходимые условия, которые перечисляются в этих же ячейках. В каждом фрейме содержится информация о том, в какой ситуации им пользоваться, какие результаты следует ожидать при восприятии, что изменять при неподтвердившихся результатах. Фрейм может содержать данные, ненужные для воспринимаемой конкретной сцены или ситуации, в этом случае их требуется заменять на информацию, содержащуюся в данной сцене.

В модели ДП должны храниться два типа описаний: интенциональные

и экстенциональные. *Интенциональные описания* – это описания чистых знаний об объекте управления и протекающих в нем процессах. Ролевой фрейм, в котором роли только названы, но не заполнены, представляет собой пример такого интенционального описания. При заполнении же ролей возникает множество *экстенциональных описаний* – конкретных факторов, дающих в совокупности описание текущей ситуации. Как ин-

вый метод к обработке информации, основанный на развитии концепции «мягких вычислений». Подход предусматривает использование двух теоретических принципов, позволяющих обеспечить рациональную организацию вычислительной технологии обработки данных измерений в задаче анализа и прогноза развития экстремальной ситуации, а также формализовать поток информации при реализации нечеткого логи-

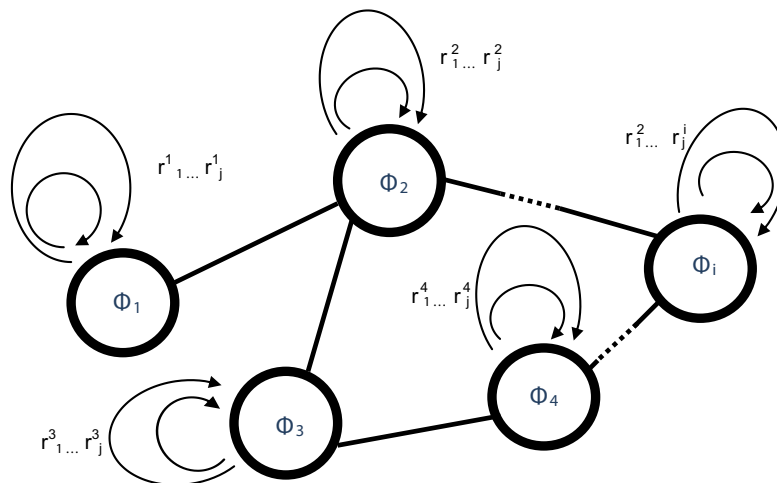


Рис. 2. Семантическая сеть с узлами-фреймами $\Phi_1 - \Phi_i$

тенциональные, так и экстенциональные описания могут быть связаны между собой различными отношениями. Наиболее важны для интенциональных описаний классифицирующие отношения, т. е. отношения типа класс–элемент класса. Эти отношения описывают структуру объекта управления и структуру процессов принятия решений по управлению данным объектом. Отношения же на множестве экстенциональных описаний являются ситуативными. Они связывают отдельные конкретные факты между собой в единую ситуацию [8].

В процессе решения оператором энергетического комплекса задачи по управлению ТС под воздействием внешних (воспринимаемых СР) и внутренних стимулов (являющихся результатами промежуточных мысленных операций) в актуальное состояние приводятся те знания, содержащиеся в терминалах фреймов, которые необходимы в данный момент, а между самими фреймами, благодаря хранящимся в терминалах указаниям, устанавливаются связи. Созданную в контексте решаемой задачи оперативную модель можно представить в виде семантической сети, узлами которой являются фреймы $\Phi_1 - \Phi_i$, содержащие в своих терминалах совокупность приведенных в актуальное состояние знаний $r_{11} - r_{jp}$, а графы, соединяющие узлы, отражают взаимные связи. Внешний вид подобной модели показан на рис. 2.

Основываясь на выше сделанных выводах и схемах, можно применить но-

ческого вывода в мультипроцессорной вычислительной среде (рис. 3).

Используемые процедуры параллельной обработки информации при реализации этого принципа отражают процесс функционирования бортового комплекса – от момента получения информации от датчиков измерительной системы до процедуры логического вывода и выработки практических рекомендаций. Принцип формализации нечеткой информации в мультипроцессорной вычислительной среде позволяет осуществлять параллельные цепочки нечеткого вывода в непрерывно изменяющихся условиях динамики объекта и внешней среды.

Анализ и прогноз развития экстремальных ситуаций при функционировании ИСППР связан с использованием нечетких моделей базы знаний. Такие модели позволяют организовать вычислительные процедуры анализа процесса взаимодействия «Оператор–ИСППР» в рамках адаптивного подхода. При этом прогноз вероятности возникновения нештатных ситуаций и прогноза объекта в этих условиях осуществляется с помощью математических моделей в виде дифференциальных уравнений, а прогноз характеристик в процессе развития ситуации – на основе статистических и нейросетевых моделей. Практика построения моделей прогнозирования показывает, что удовлетворительную модель на основе искусственной нейронной сети (ИНС) можно построить даже в условиях нехватки данных. Такая мо-

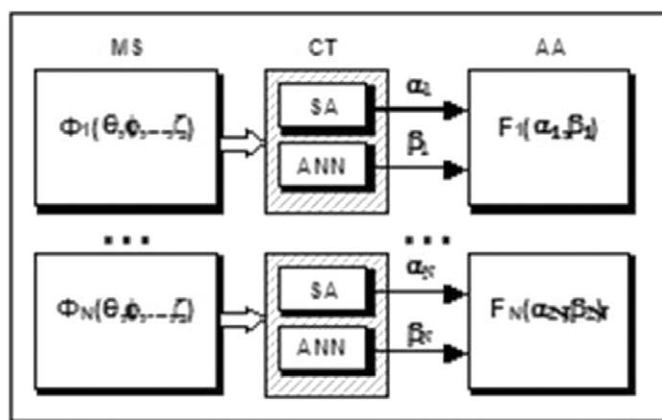


Рис. 3. Схема формализации потока информации при реализации нечеткого логического вывода в мультипроцессорной вычислительной среде

MS – измерительная система; CT – конкурирующие технологии; AA – анализ альтернатив; $\Phi_1(x), \dots, \Phi_N(x)$ – векторы измерений, подаваемых на стандартный (SA) и нейросетевой (ANN) алгоритмы; $\alpha_i, \beta_i, \dots, \alpha_N, \beta_N$ – выходные векторы для SA и ANN; $F_1(x), \dots, F_N(x)$ – функции, определяемые в результате анализа альтернатив

дель можно уточнять по мере того, как становятся доступными новые данные, используя одну из ключевых особенностей таких сетей – самообучаемость. Это особенно важно на начальной стадии развития нештатной ситуации, когда исходных данных недостаточно для решения задачи с использованием традиционных методов анализа и прогноза.

Теоретическая база для использования различных классов нейросетевых моделей заложена в фундаментальных исследованиях по теории ИНС [9–11]. В этих работах показано, что произвольное многомерное отображение может быть как угодно точно аппроксимировано с помощью нейросетевой модели конечной размерности (с конечным числом слоев и узлов в каждом слое).

При реализации ИНС возникает задача «сжатия» исходной информации, приводящая к упрощению архитектуры сети и сокращению времени ее обучения. Процедуры, положенные в основу решения этой задачи, предусматривают использование методов когнитивной графики.

Исходная информация для анализа и прогноза формируется в результате имитационного моделирования случайного волнового поля и последующего использования полученных данных для исследования взаимодействия ДО с внешней средой.

Алгоритм прогноза возникновения и опасности нештатной ситуации на основе данных математического моделирования реализуется в такой последовательности:

1) генерируется нерегулярное волновое поле заданной интенсивности для различных значений спектральной плотности, охватывающих реальный диапазон изменения характеристик волнения. Моделируется динамика взаимо-

действия плавучего объекта с внешней средой. Эта процедура повторяется для каждой экстремальной ситуации при различных реализациях волнового поля;

2) проводится статистическая обработка полученных массивов экспериментальных данных. Вычисляются значения вероятности реализации конкретной экстремальной ситуации и вероятности потери устойчивости движения (опрокидывания) и соответствующий коэффициент вариации;

3) строится модель прогноза возникновения экстремальных ситуаций, учитывающая результаты статистической обработки с учетом приоритетов, установленных на основе анализа экспериментального массива.

Практическое использование результатов работы алгоритма осуществляется при модификации логических моделей принятия решений динамической базы знаний ИСППР.

При функционировании бортовых ИСППР также большое внимание уделяется организации интерфейса «Оператор–ИСППР». Особенно сложной является разработка адекватного диалога, содержащего компоненты, связанные с разработкой, редактированием и генерацией сценариев диалога в нештатных ситуациях, требующих привлечения графической информации, в том числе и интуитивно понятной компьютерной графики. Формирование сценария диалога и декомпозиция процесса взаимодействия «Оператор–ИСППР» с учетом механизма адаптации придает интерфейсу свойства интеллектуальности.

Интеллектуальный интерфейс позволяет решать сложные задачи обнаружения и идентификации ситуации, оценки ее опасности, выдачи практических рекомендаций и их корректировки. Особенно сложно это в нештатных ситуациях, когда

ИСППР испытывает затруднения при реализации логического вывода. В условиях неопределенности и неполноты исходной информации оператору часто приходится самостоятельно принимать решения на основе опыта эксплуатации и данных о фактических характеристиках внешних условий и динамики ситуации. Функции интеллектуального интерфейса в этих условиях заключаются в обеспечении оператора всеми доступными данными, включая результаты имитационного моделирования взаимодействия ДО с внешней средой для различных вариантов при выборе решения.

Результаты исследования показывают, что рациональное использование нейросетевых технологий в сочетании с традиционными алгоритмами анализа и интерпретации исходной информации позволяет обеспечить гибкость ИСППР и способность адаптироваться к изменяющимся внешним условиям. При этом сохраняется высокое качество работы и реализация недостижимого ранее уровня вычислительной мощности.

Применение данных систем интеллектуальной поддержки оператора на основе нейросетей существенно увеличит потенциал пользователя и ускорит его цифровую трансформацию при переходе к доктрине сетевцентрической формы действий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Норман Д. Память и научение. – М.: Мир, 1985.
2. Хофман И. Активная память: Экспериментальные исследования и теории человеческой памяти. – М.: Прогресс, 1986.
3. Клацки Р. Память человека: структуры и процессы. – М.: Мир, 1978.
4. Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л. Мозг, разум и поведение. – М.: Мир, 1988.
5. Дудкин К. Н. Зрительное восприятие и память: Информационные процессы и нейронные механизмы. – Л.: Наука, 1985.
6. Минский М. Структура для представления знания. – В кн.: Психология машинного зрения. – М.: Мир, 1978, с. 249–338.
7. Представление и использование знаний/Под ред. Х. Уэно. – М., 1989.
8. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика – М.: Наука, 1986.
9. Розенблатт Ф. Проблема внедрения самообучающихся информационных систем для оценки качества изготовления и функционирования машин и оборудования. – СПб., 2004.
10. Баридорф Д. Нейронные сети и нечеткая логика. Новые концепции для технической диагностики неисправностей. – В кн.: Приборы и системы управления, 1996.
11. Беляков В. В., Бушуев М. Е., Сагунов В. И. Многокритериальная оптимизация в задачах оценки подвижности, конкурентоспособности автотракторной техники и диагностики сложных технических систем/ИГТУ – Н. Новгород, 2001. ■

В качестве достаточно упрощенного примера реализации такой системы может быть приведен вариант с погружением в виртуальное окружение квадрокоптера (рис. 1) [1], перемещающегося в пустом помещении, в то время как его бортовая информационно-управляющая система получает информацию из виртуального окружения [2].

В качестве такой информации может быть изображение, поступающее с виртуальной камеры, сигналы виртуального лидара, радара, датчиков расстояния и других виртуальных систем, предоставляющих информацию о виртуальном окружении объекта.



Рис. 1. Квадрокоптер перемещается в пустом помещении (нижний правый угол), в то время как его система управления «видит» виртуальное окружение

Такой подход позволяет испытывать систему управления РТК, погружая его в самые различные ситуации, конфигурации окружения, максимально снижая вероятность выхода его из строя в результате столкновения с препятствиями и т. п., снижая затраты на создание реальных испытательных полигонов различной конфигурации и т. д.

Очевидно, можно пойти дальше, заменив и сам физический объект полностью или частично его моделью, но работая с физической аппаратно-программной системой управления, по-прежнему, получающей информацию из симуляции, т. е. погруженную в виртуальное окружение.

ОБЩАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ

Упрощенная структура разрабатываемого на кафедре киберфизических систем комплекса полигонов представлена на рис. 2 [3]. Условно можно выделить две основные системы комплекса: систему физически корректного моделирова-

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПРОГРАММНО- АППАРАТНЫХ СИСТЕМ МОРСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.А. Жиленков, канд. техн. наук, доцент,

зав. кафедрой киберфизических систем, зам. директора
Института гидродинамики и процессов управления,

С.Г. Черный, канд. техн. наук, доцент кафедры киберфизических систем,
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет»,

контакт. тел. +7 (921) 305 5907, +7 (978) 817 1679, sergiiblack@gmail.com

ния и систему программно-аппаратного моделирования.

В настоящее время моделирование окружения, объекта управления и их взаимодействия проводится на мощностях рабочей станции высокопроизводительных вычислений, находящейся в лаборатории кафедры. Станция просчитывает математические модели виртуального окружения и объекта управления, физические взаимодействия в моделируемой среде и т. д., на ней же выполняется рендеринг трехмерной сцены. Через разработанные протоколы осуществляется подключение к станции удаленных машин, а также аппаратной системы управления через так называемый «мост».

В качестве простого примера рассмотрим работу системы в режиме тренажера. Допустим, необходимо обучить оператора управлению квадрокоптером в определенных условиях. В данном режиме оператор находится за персо-

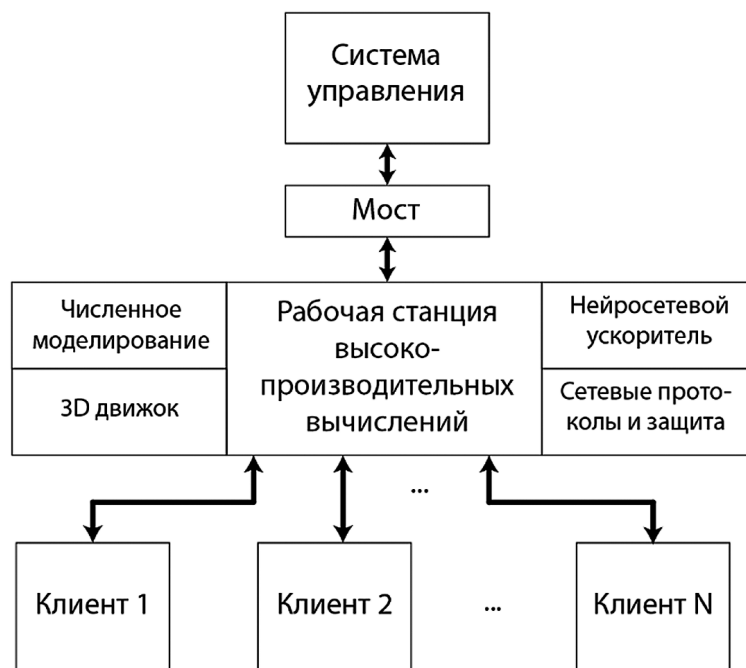


Рис. 2. Упрощенная структура комплекса виртуальных и гибридных полигонов

нальным компьютером «клиент 1» (см. рис. 2), связанным сетевым соединением с рабочей станцией. Рабочая станция осуществляет расчет физики движения квадрокоптера, окружающих объектов, построение 3D сцены. Рабочая станция получает команды управления от клиента 1, рассчитывает сцену и возвращает информацию о состоянии объекта управления и окружения на компьютер клиента 1, на котором также реализуется визуализация сцены на основании полученной от рабочей станции информации.

Допустим теперь, что нам необходимо отработать алгоритм распознавания объектов определенного класса в сцене или испытать уже аппаратно-программную реализацию данного алгоритма на конкретном «железе». В правом нижнем углу рис. 3 показано изображение, передаваемое с виртуальной камеры квадрокоптера. Данное изображение может обрабатываться программной реализацией алгоритма распознавания на компьютере клиента 1 либо передаваться через мост на реальный бортовой компьютер, обрабатывающий его и возвращающий результат на рабочую станцию и, если требуется, компьютеры, подключенные к ней, для оперативного контроля качества работы испытываемой системы. При этом в виртуальном окружении можно симулировать различные возмущающие воздействия, например туман, сильный дождь, снег и т. п., различное время суток, освещенность (рис. 4), влияющие на качество распознавания.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В приведенном выше примере упомянута задача распознавания объектов на изображениях виртуальной камеры, реализуемая аппаратной системой, которая подключена к виртуальному полигону через специализированный мост. Еще более близким к проблемам управления является пример реализации задачи автоматического управления крылатым подводным объектом без двигателей. Данная задача также решается на кафедре киберфизических систем, в том числе на базе описываемого комплекса полигонов. В данном случае имеется объект управления, представляющий собой шарообразный крылатый объект с управляемой плавучестью и регулируемым положением центра тяжести. Основной задачей является разработка бортовой системы автоматического управления, реализующей траекторное планирование и управление движением данного объекта, обеспечивающей его всплытие в заданную точку в условиях изменяющихся течений, наличия возможных препятствий и т. д. При запуске симуляции объект покоится на дне и при по-

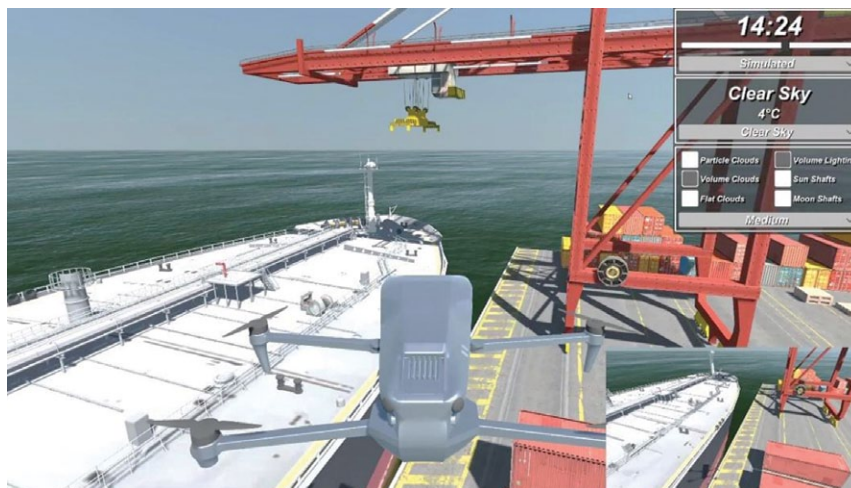


Рис. 3. Движение квадрокоптера в виртуальном окружении

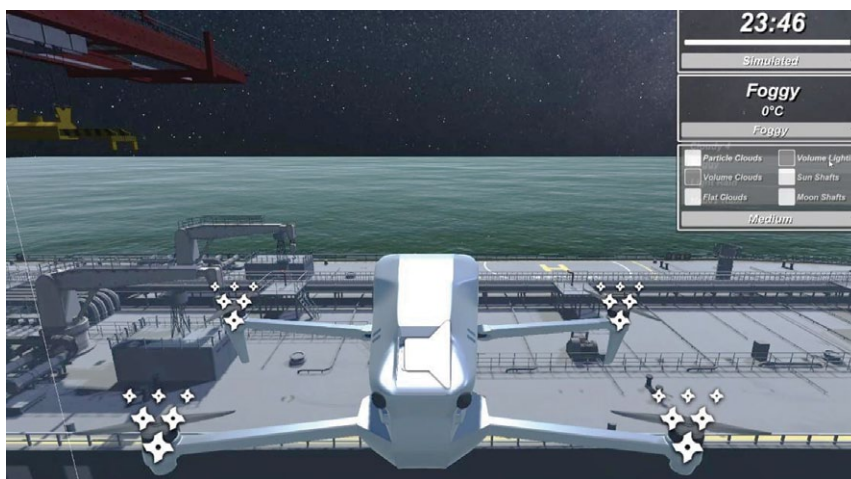


Рис. 4. Симуляция различных внешних условий



Рис. 5. Управление виртуальным объектом с помощью реальной бортовой системы автоматического управления

лучению команды начинает всплытие к заданной точке. На рис. 5 такой точкой является движущееся судно.

Сопряжение аппаратной части бортовой системы управления с виртуальным полигоном – наиболее сложный компонент комплекса за рамками вычислительной части рабочей станции. Физическая система управления должна испытываться в условиях, максимально приближенных к реальным, т. е. к тем, когда система установлена

непосредственно на объекте управления. При этом, во-первых, весь комплекс виртуального (в данном случае правильного) полигона должен функционировать в режиме реального времени. Во-вторых, система управления должна получать не программную эмуляцию входных сигналов системы управления, а физический сигнал на своих входах и генерировать выходные сигналы на своих физических выходах.

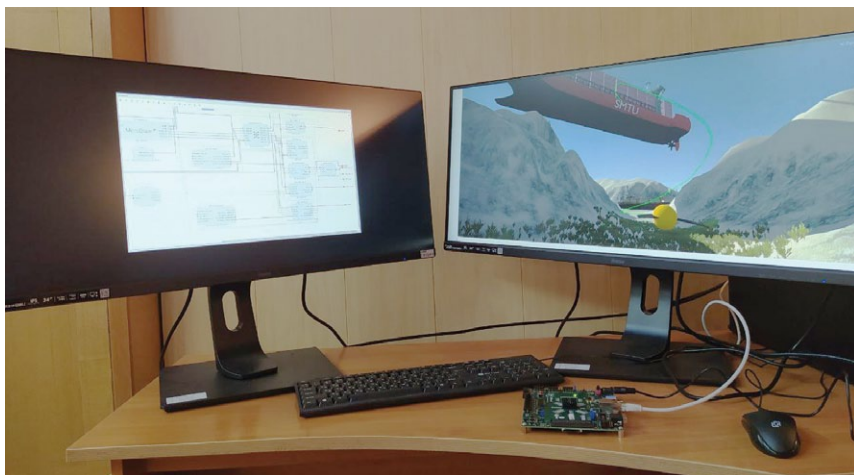


Рис. 6. Управление виртуальным объектом через мост на ПЛИС

Данные принципы реализуются уже упоминавшимся выше мостом, который реализован на базе ПЛИС (рис. 6) и представляет собой фактически интерфейс для подключения аппаратных решений к виртуальному полигону, включая реализацию высокоскоростного защищенного сетевого обмена информацией по Ethernet с рабочей станцией.

МОДУЛЬ ФИЗИЧЕСКИ КОРРЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Очевидно, что для испытания систем управления необходимо адекватное моделирование движения объекта управления и его взаимодействия с виртуальным окружением. За это в комплексе виртуальных и гибридных полигонов отвечает модуль физически корректного моделирования. Основная задача модуля в части моделирования движения РТК – минимизация ошибки моделирования на (относительно) больших интервалах времени и корректное моделирование физики движения. В данном модуле реализованы специальные методы и алгоритмы численного интегрирования, обеспечивающие сохранение геометрических структур уравнений, описывающих движение объектов. Сами рассчитываемые математические модели объектов описаны в дифференциаль-

но-геометрической постановке [3]. Это позволило, например, снизить ошибку моделирования движения крылатого подводного тела и глайдера до 2–3% по сравнению с 20–40%, полученными для классических моделей и методов интегрирования на том же интервале времени моделирования.

Второй основной задачей данного модуля является корректное моделирование взаимодействий с виртуальным окружением и различного рода физических эффектов в нем. Наиболее сложное здесь – учет гидродинамических эффектов для объектов, движущихся под водой и на её поверхности. Для этого реализованы модули гидродинамических расчётов.

Также разрабатываются модули моделирования распространения акустических, оптических сигналов в водной среде и т. п. Так, на рис. 7 приведен пример моделирования ограниченной видимости под водой.

Модуль нейросетевого ускорения.

Поскольку, как было отмечено выше, для тестирования аппаратно-программных систем управления все моделирование необходимо реализовывать в режиме реального времени, встает вопрос ускорения расчетов всех моделей комплекса. Одним из инновационных решений

здесь стала разработка модуля нейросетевого ускорителя моделирования задач вычислительной физики. Модуль обеспечивает снижение размерности модели с помощью уникальных алгоритмов представления моделей в неевклидовых пространствах. Дополнительное ускорение реализуется интенсивным применением массивно распараллеленных вычислений на базе профессиональных графических ускорителей, установленных в рабочей станции.

ВЫВОДЫ

На сегодняшний день накоплена библиотека математических, 3D моделей и программных модулей для различных объектов управления, включая, помимо упомянутых выше, различные глайдеры, аппарат повышенной маневренности для осмотра подводной части кораблей, ледников и т. п. в непосредственной близости в условиях течений, волнения и т. д.; летательные аппараты, включая дрон-вертолет. Реализован в базовой части и продолжает развиваться отечественный моделирующий комплекс, позволяющий проводить испытания систем управления РТК в режиме реального времени. В комплексе применен целый ряд уникальных решений в части математического и компьютерного моделирования, применения методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Разрабатывается аппаратно-программная система потокового шифрования данных в системе, реализуемая на базе динамического хаоса [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhilenkov A. A., Epifantsev I. R. System of autonomous navigation of the drone in difficult conditions of the forest trails. – Proceedings of the 2018 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2018, St. Petersburg and Moscow, 29 января – 1 февраля 2018 г. – St. Petersburg and Moscow: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. – P. 1036–1039. – DOI 10.1109/ElConRus.2018.8317266.
2. Zhilenkov A. The study of the process of the development of marine robotics. – Vibroengineering Procedia, Moscow, 4–7 октября 2016 г. – Moscow: Без изд-ва, 2016. – P. 17–21.
3. Моисеев И. С., Жиленков А. А., Ениватов В. В., Зинченко А. А. Некоторые проблемы моделирования динамики механических систем и их решение методами вариационных интеграторов группы Ли//Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2021. – Т. 17. – № 1. – С. 81–89. – DOI 10.17122/1999–5458–2021–17–1–81–89.
4. Жиленков А. А. Анализ уязвимостей систем защиты информации, построенных на базе цифровых генераторов хаотического сигнала//Вопросы защиты информации. – 2018. – № 4 (123). – С. 20–23. ■

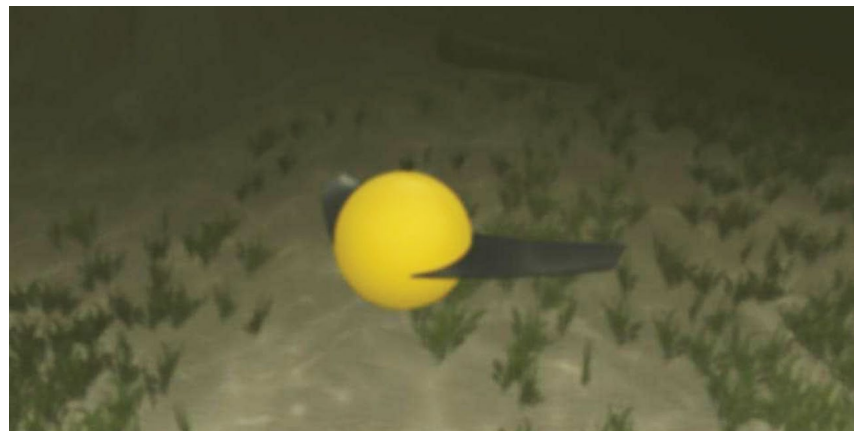


Рис. 7. Моделирование ограниченной видимости в водной среде

На сегодняшний день результаты развития альтернативной энергетики носят неоднозначный характер. Как и ранее, актуальным остается вопрос усовершенствования уже существующих методов классической разработки углеводородных месторождений. Одним из эффективных вариантов оптимизации процесса добычи нефти и газа на морском шельфе является проведение 4D сейсмических исследований, также называемых сейсмическим мониторингом. В самом обобщенном представлении данный вид работ предполагает проведение 3D сейсмической съемки с последующими повторами с интервалами от полугода до нескольких лет на одних и тех же площадях, с одинаковыми параметрами исследования.

В настоящее время на морских месторождениях указанный вид съемки осуществляется путем использования современных 4-компонентных сейсμοприемников (4С) как на кабельной системе (так называемая сейсморегистрирующая коса), так и с автономными донными модулями*. Пунктом возбуждения является специализированное судно, буксирующее за собой одновременно несколько линий пневмоисточников, которые осуществляют «пневмовыстрел» в определенных запланированных точках (рис. 1). Приходящие отраженные от геологических горизонтов продольные и поперечные волны регистрируются расставленными на дне сейсμοприемниками. Согласно методике повторную съемку на одном и том же участке необходимо проводить с периодом, определенным геологическим заданием в соответствии с поставленными задачами. Применение данного подхода позволяет отслеживать миграции пластов флюида**, выполнять контроль параметров водонасыщенности пласта, а также корректировать план разработки месторождения и оптимизировать схему бурения скважин на гнетательного фонда.

Первые эксперименты с подобными исследованиями были проведены в водах Мексиканского залива (блоки Eugene Island 330/338 и месторождение South Timberland 295 [1]) еще в конце 80-х гг. прошлого века. На сегодняшний день этот вид исследований применяется на многих шельфовых месторождениях Северного моря, в Мексиканском заливе, Бразилии, Нигерии, Индонезии (Draugen [2],

*Донный модуль – высокотехнологичный регистрирующий автономный сейсμοприемник.

**Флюиды в нефтяной отрасли используются для обозначения воды, нефти и газа в природном резервуаре.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗВЕДКЕ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К.А. Смирнов, канд. техн. наук, ген. директор,

Н.Н. Пасевич, начальник сектора гидрографического и океанографического оборудования,

П.К. Смирнов, инженер отдела опытно-экспериментальных разработок, АО «Морские навигационные системы»,
контакт. тел. (812) 320 3840

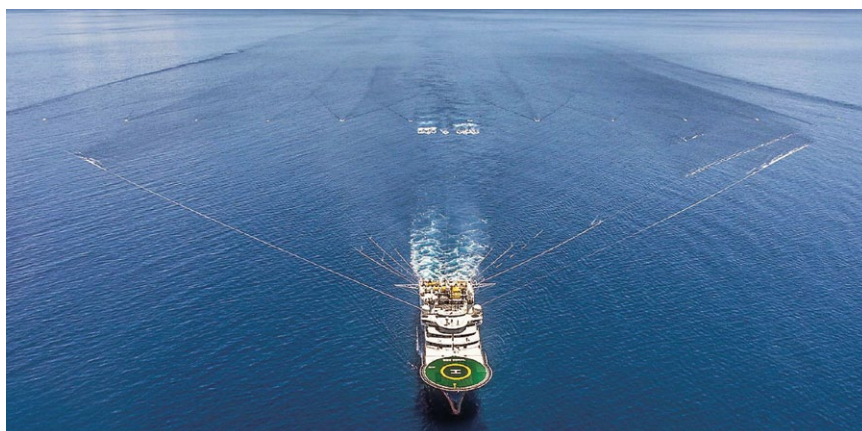


Рис. 1. Выполнение морской сейсмосъемки (НИС «Geo Coral», компания CGG).
Источник: <https://gcaptain.com/spotd-cggs-geo-coral-drags-full-spread/>

Gullfaks [3], Ekofisk, Valhal [4] и т. д.). В РФ такой вид съемки использовался на Пулун-Астохском месторождении (полевые сезоны в 1997 и 2010 гг. [5]). По-прежнему остро стоит вопрос повышения коэффициента извлечения нефти (КИН) на шельфовых месторождениях РФ. Наиболее перспективными морскими месторождениями, где возможно применение описанной методики, являются Приразломное, Варандей в Печорском море, имени Корчагина и имени Филановского на Каспии, Кириновское на шельфе Сахалина.

Сложность рассматриваемого метода заключается в том, что для получения качественных данных критическим требованием является повторение геометрии расстановки регистрирующей системы и пунктов возбуждения. Для точного развертывания сейсμοприемников применяются системы внешнего пингирования*** донных модулей с привлечением специализированного судна-раскладчика, оборудованного DP2 (системой динамического позиционирования). Повторное возбуждение сейсмического сигнала в заданной точке – нетривиальная задача. Решение этой проблемы достигается путем применения параванов – массивных буксируемых тел (до 5 т),

***Пингирование – позиционирование подводных объектов методом акустического отклика.

которые несут на себе пневмоисточники. Их соединение с судном-источником осуществляется через специальные усиленные тросы, внутри которых заложена сеть электрических кабелей и шланг высокого давления. Норматив по отклонению от заданных координат в пункте взрыва (пневмоимпульса) во время повторных исследований не более 2–3 м. В настоящее время в мире только одна западная фирма PGS успешно разработала и применяет систему управления позиционированием буксируемых морских сейсμοисточников (рис. 2).

В условиях беспрецедентного санкционного давления со стороны ряда стран–поставщиков нефтяного оборудования по отношению к РФ мы неизбежно сталкиваемся с необходимостью разработки отечественных решений, позволяющих качественно выполнять мониторинг нефтяных месторождений методом морской 4D сейсмосъемки.

Летом 2022 г. АО «МНС» приступило к разработке и созданию адаптивной подруливающей системы для управления движением параванов. Стоит отметить, что во избежание образования акустических сигналов-помех сами параваны не оснащаются двигателями, которые позволили бы в реальном времени скорректировать их траекторию. В связи с этим необходимо обеспечить нужные гидродинамические характеристики подрулива-

ющего крыла, а также удовлетворить требованиям по их прочности и износостойкости посредством усиления уязвимых элементов конструкции.

С этой целью авторами в специализированном программном комплексе проведена серия гидродинамических и прочностных расчетов, по результатам которых разработана оптимальная модель подруливающего крыла. Проводимые в современных средствах инженерного анализа исследования позволяют на ранних этапах проектирования оценить поведение изделий под ожидаемыми нагрузками, а применение цифровых решений – поднять качество проектных работ и, соответственно, производимой продукции на новый уровень за счет использования современных технологий. В последнее время особое внимание уделяется понятию цифрового двойника – формализованной цифровой копии реального физического объекта, которая позволяет с высокой точностью воспроизводить поведение исследуемой конструкции под действием внешних сил. В настоящей статье отражены основные моменты вышеописанных изысканий по определению оптимальной формы конструкции под действием задаваемых нагрузок.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В проводимом расчете требовалось предварительно проверить конструкцию подруливающего крыла на способность выдерживать рабочие гидродинамические нагрузки. Нужно было выявить наиболее слабые зоны, а также оценить прочность изделия в целом (рис. 3).

Процесс расчета – итеративный и предполагает проведение исследований, начиная с примитивной модели. Первым этапом является гидродинамическое исследование крыла, которое позволит оценить результирующую силу воздействия встречного потока воды на его поверхность. Цель проведения гидродинамического исследования – определение предельной рабочей нагрузки на поверхность крыла паравана в эксплуатационных условиях. Максимальная нагрузка на поверхность крыла принимается при его наибольшем, практически перпендикулярном, угле отклонения от оси паравана. При этом проводится симуляция гидродинамического давления при скорости движения встречных водных масс 5 уз (рис. 4).

Результаты гидродинамического исследования переносятся в модуль для прочностного расчета, задача которого заключается в определении способности рассматриваемой конструкции выдерживать целевую нагруз-



Рис. 2. Система управления позиционированием буксируемых морских сейсмостойков. Фото с сайта <https://www.pgs.com/> [16]

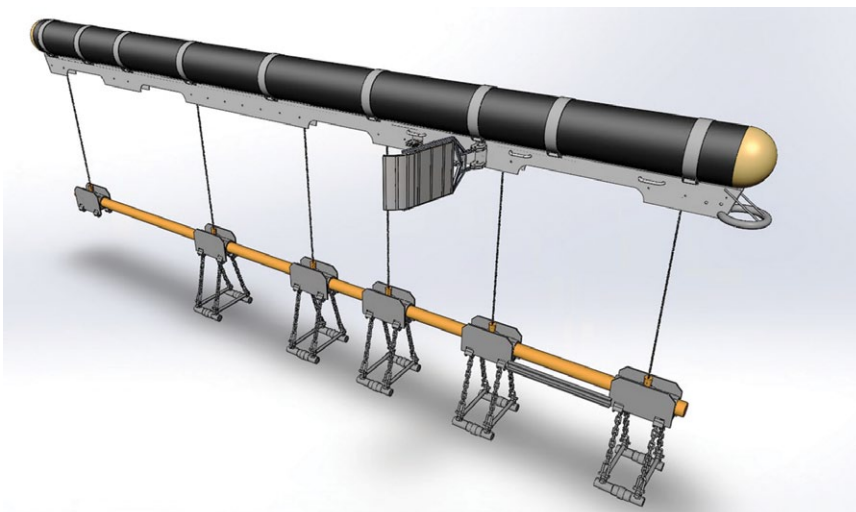


Рис. 3. Общий вид конструкции паравана и подруливающего крыла

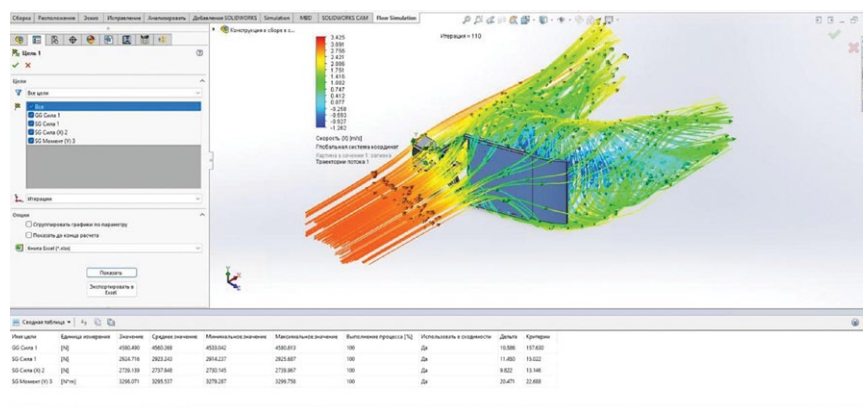


Рис. 4. Гидродинамический расчет подруливающего крыла

ку. В случае неудовлетворения этому критерию необходимо провести оптимизацию наиболее слабых узлов для повышения их прочности. В конструкции крыла предусматривается использование линейного актуатора. В расчете он рассматривается как абсолютно жесткое тело, чтобы имитировать сопротивление привода встречным потокам воды (рис. 5).

Расчет проводится методом конечных элементов, в настройках исследования обозначается расчетная сетка переменной плотности с точками Якоби в узлах. По результатам исследования можно оценить напряженно-деформированное состояние конструкции, а также эпюры напряжений с выявлением слабых зон, требующих особого внимания (рис. 6).

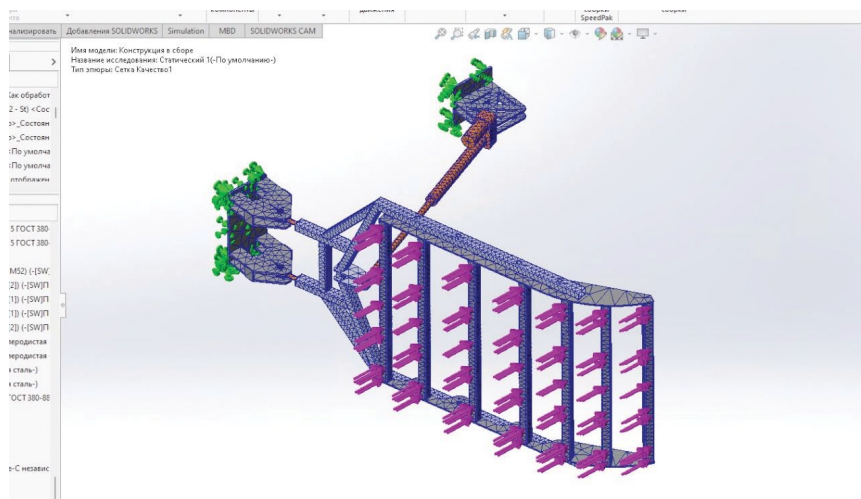


Рис. 5. Подготовка модели к статическому исследованию конструкции на прочность

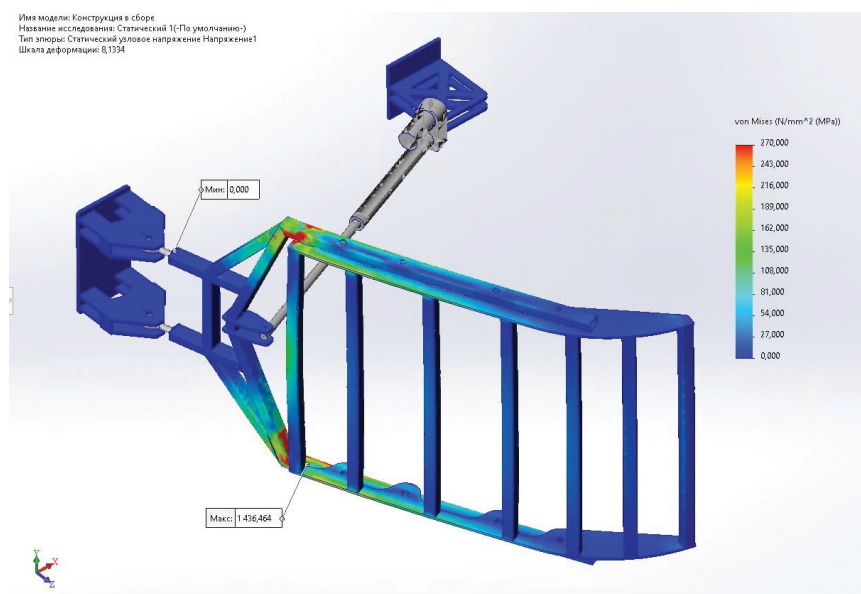


Рис. 6. Эпюра напряжений конструкции под действием заданных сил

Результаты исследования при скоростном встречном потоке 5 уз указывают на то, что данная нагрузка оказывается критической в красных областях эпюры напряжений, в которых могут наступить неупругие деформации конструкции и произойти разрыв, обусловленный достижением предела текучести материала. Самая слабая область приходится на угловые переходы металлического каркаса. Сле-

довательно, в этой области требуется провести дополнительную работу по усилению конструкции, что и было выполнено с отражением изменений в РКД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В сжатые сроки в период с июня по ноябрь 2022 г. компанией АО «МНС» было проведено проектирование и создан работающий прототип

системы, позволяющей выполнять позиционирование буксируемого тела сейсмического паравана. В ноябре 2022 г. в акватории Японского моря на научно-исследовательском судне, принадлежащем крупной российской геологоразведочной компании, проведены морские испытания данного оборудования. В планах у нашей компании – изготовить полноценный образец системы с учетом полученных результатов и применить его в 2023–2024 гг. на одном из месторождений шельфа о. Сахалин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fanchi John R., Pagano Theodore A., Davis Thomas L. State of the art of 4D seismic monitoring: the technique, the record, and the future//Oil & Gas Journal. – 1999. – 31.05. – [электронный ресурс]: <https://www.ogj.com/articles/print/volume-97/issue-22/in-this-issue/general-interest/state-of-the-art-of-4d-seismic-monitoring-the-technique-the-record-and-the-future.html>
2. Norway: Shell aiming for 75% recovery from Draugen through lateral thinking, 4D seismic. – Портал Offshore Magazine. – [электронный ресурс]: <https://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-62/issue-8/news/norway-shell-aiming-for-75-recovery-from-draugen-through-lateral-thinking-4d-seismic.html>
3. Anderson D.J. (PGS), Wierzchowska M. (PGS), Oukili J. (PGS), Eckert D. (Statoil ASA), Sadikov E. (Statoil ASA). Optimising 4D Seismic with Evolving Technology over 20 Years of Reservoir Monitoring of the Gullfaks Field, North Sea. – [электронный ресурс]: <https://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-62/issue-8/news/norway-shell-aiming-for-75-recovery-from-draugen-through-lateral-thinking-4d-seismic.html>
4. Valhall Oilfield, North Sea. – Портал Offshore Technology. – [электронный ресурс]: https://www.offshore-technology.com/projects/valhall_flank/
5. <https://na-journal.ru /4-2018-tehnicheskije-nauki /1305-4d-sejsmicheskij-monitoring-neftegazovyh-shelfovyh-mestorozhdenij-akvatorij-severnyh-morej-s-pomoshchyu-donnyh-registriruyushchih-sistem?ysclid=labfkyd0aj22544529>
6. <https://www.pgs.com /marine-acquisition/tools-and-techniques/marine-seismic-sources/technology/source-steering-system/>

С отечественным судостроением уже более века неразрывно связано АО «Электрорадиоавтоматика» – исполнитель электромонтажных и регулировочно-сдаточных работ на заказах судостроительных и судоремонтных заводов северо-запада России. До недавнего времени оно относилось к числу закрытых, и упоминание о нем в открытой печати исключалось. В современной России стали появляться в печати материалы о его деятельности, в том числе до 1917 г., но они носят фрагментарный характер, и создать на их основе целостную историю предприятия за период с начала XX в. до начала 20-х гг. далеко не простое дело.

В начале XX в. в России начала действовать «Всеобщая компания электричества», или ВКЭ. Ее устав был утвержден Николаем II 30 октября 1901 г. Основана она была на немецкие деньги, что для того времени было делом обычным, так как практически все электротехнические компании были иностранные и располагались, как правило, в Петербурге. С самого начала своей многоплановой деятельности ВКЭ начала развивать бизнес в области строительства электростанций, электрификации железных дорог, развития трамвайного движения в городах России, изготовлении электрооборудования, турбин, боеприпасов и по ряду других направлений, в том числе тесно сотрудничала с ВМФ страны. В короткие сроки она развернула свои филиалы на территории России от Варшавы до Владивостока. Оценив перспективу возрождения русского флота после русско-японской войны, компания создала технические базы в местах строительства и базирования флота – в Петербурге, Николаеве, Севастополе, Ревеле и Гельсингфорсе. В 1905 г. ВКЭ покупает в Риге новый электротехнический завод «Унион», на котором было установлено 400 станков и работало 3000 рабочих. Его основной продукцией было электрооборудование для флота, например, турбогенераторы. С приобретением завода ВКЭ становится одной из ведущих фирм в России по производству силового электрооборудования. В 1915 г. при приближении фронта к Риге завод был эвакуирован в Харьков и после войны в Ригу не вернулся. В советское время был известен как Харьковский электромеханический завод (ХЭМЗ).

В Петербурге компания открыла мастерские на Калашниковской наб., 64, на Кожевенной, 37 и на Вознесенском пр., 36, организовано было также складское хозяйство. Правление размещалось на Б. Конюшенной, 9,

ИЗ ИСТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ АО «ЭЛЕКТРОРАДИОАВТОМАТИКА»

*Е.А. Губарев, ветеран АО «Электрорадиоавтоматика»,
контакт. тел. +7(921) 960 8545*

а службы – на набережной Мойки, 38. Появление новой электротехнической компании с хорошо развитой технической базой и крепкими связями с электротехническими гигантами АЕГ и «Вестингауз» по времени совпало с такими событиями в жизни России, как утверждение Государственной Думой под большим давлением Николая II и морского министра И. Григоровича программ по возрождению русского флота и закона «О военно-морском флоте России». Исключительно важным было также решение царя о постройке кораблей на отечественных заводах до середины 20-х гг., как диктовала международная обстановка. Было очевидно, что поставленные задачи отечественное судостроение могло выполнить только при глубокой модернизации отрасли и строительстве новых заводов, то же самое касалось и заводов-поставщиков артиллерийских башен, корабельной брони, турбин, котлов и другого корабельного оборудования. Не соответствовала поставленным задачам существовавшая организация электромонтажных работ. К монтажу общекорабельного электрооборудования привлекались плохо оснащенные маломощные компании, а к монтажу слаботочного – их заводы-поставщики. Исключение составлял Балтийский завод, имевший три электроцеха: установочный (электромонтажный), электротехнический, изготавливающий электрооборудование, как правило, для собственных нужд и цех-стенд для зарядки аккумуляторов и испытания электрооборудования.

В этот период военно-морской отдел ВКЭ стал предлагать судостроительным заводам новую организацию электромонтажных работ и поставок электрооборудования, при которой компания выступала в качестве единого исполнителя и несла полную ответственность за соблюдение сроков и финансовой дисциплины. Новая организация работ и поставок электрооборудования при строительстве кораблей получила положительную оценку заводов, да и поставщики силового и слаботочного электрооборудования не возражали, так как освобождались при этом от выполнения несвойственных им работ. Вполне естественно, что ВКЭ начинает по-

лучать заказы на электрооборудование вновь строящихся кораблей. Так, в 1911 г. она начала работы в Петербурге на Невском механическом заводе, где строили подводные лодки типа «Нарвал» для Черноморского флота. А 1 июня 1912 г. был заключен договор между правлением компании «Руссуд» из Николаева и правлениями компаний ВКЭ, «Сименс-Гальске» и «Сименс-Шуккерт» о полном электрооборудовании линкоров «Императрица Мария» и «Император Александр III». В соответствии с параграфом 14 договора «... полную ответственность перед «Руссудом» по договору несет русское общество ВКЭ, с каковым «Руссуд» ведет все денежные расчеты и все сношения по его исполнению» [1]. Подтверждением высокой оценки ВКЭ был ее выбор в качестве основного исполнителя комплекса работ и поставок электрооборудования для 7 линкоров, 6 легких крейсеров и 17 эсминцев, т. е. всех крупных кораблей, которые строились в тот период. Ключевую роль в получении заказов играл военно-морской отдел компании, которому были предоставлены самые широкие возможности (как и другим ее отделам) в вопросах руководства филиалами, подготовки договоров, разработки конструкторской и технологической документации, переписки с техническими службами флота, с отечественными и иностранными фирмами. Отдел ежемесячно получал от производственных подразделений отчеты о продвижении работ на заказах, которые вели по помещениям, кабельным трассам, схемам, что давало возможность иметь достоверную картину работ на заказе.

Если численность петербургского военно-морского отдела компании в 1914 г. достигла 55 человек, а отдела николаевского строительного бюро 11 человек, то уже в 1916 г., несмотря на мобилизационные мероприятия этого периода, по состоянию на 31 декабря 1916 г. численность отдела на Мойке, 38, достигла 138 человек, в Николаеве – 40.

Всего служащих в военно-морском отделе с филиалами – 218 человек, вместе с рабочими – 705 человек [2] при общей численности работающих в компании от 6000 до 8000 человек (по разным источникам).

**Численность и состав
военно-морского отдела ВКЭ на 1916 г.**

№ п. п.	Должность	Кол-во, чел.
1	Доверенный.....	1
2	Заместитель.....	1
3	Инженер.....	28
4	Чертежник.....	36
5	Светокопировщик.....	6
6	Переплетчик.....	3
7	Литограф.....	2
8	Гравер.....	5
9	Фотограф.....	1
10	Корреспондент.....	6
11	Шофер.....	1
12	Бухгалтер.....	1
13	Прислуга.....	11
14	Артельщик.....	14
15	Коммерческое отделение.....	22
Итого:		138

Численность служащих филиалов

Филиал	Кол-во, чел.
Николаевский.....	40
Ревельский.....	15
Севастопольский.....	2
Гельсингфорский.....	4
Путиловское бюро.....	2
Мастерская на Калашниковской наб.....	17
Итого:	80

С началом Первой мировой войны в России резко усилилось движение «против немецкого засилья». Отдавая дань этому движению, 1 июня 1916 г. Николай II подписывает положение об «Особом комитете по борьбе с немецким засильем». Под действие этого положения подпадает в числе других компаний и ВКЭ. В связи с этим военный министр Дмитрий Шуваев от имени «Особого совещания по обороне» 16 июня 1916 г. информирует комитет о том, что все заводы этих компаний заняты выполнением заказов для обороны. По мнению морского министра И. Григоровича и начальника Главного артиллерийского управления А. Маниковского, борьбу с «германизмом» следовало вести не только решительно, но и осмотрительно. 30 декабря 1916 г. по результатам работы «Особого комитета по борьбе с немецким засильем» вышло высочайше утвержденное положение Совета министров «О введении временного управления обществом «Всеобщая компания электричества», при этом члены этого управления обязывались принять все имущество компании, составить баланс на день принятия дел, выкупить акции у иностранных владельцев по их рыночной цене и обеспечить безостановочное продолжение работы. В результате немецкие владельцы компании были заменены на отечественных владельцев, при этом структура компании осталась прежней, а производство действовало без перерывов. Ана-

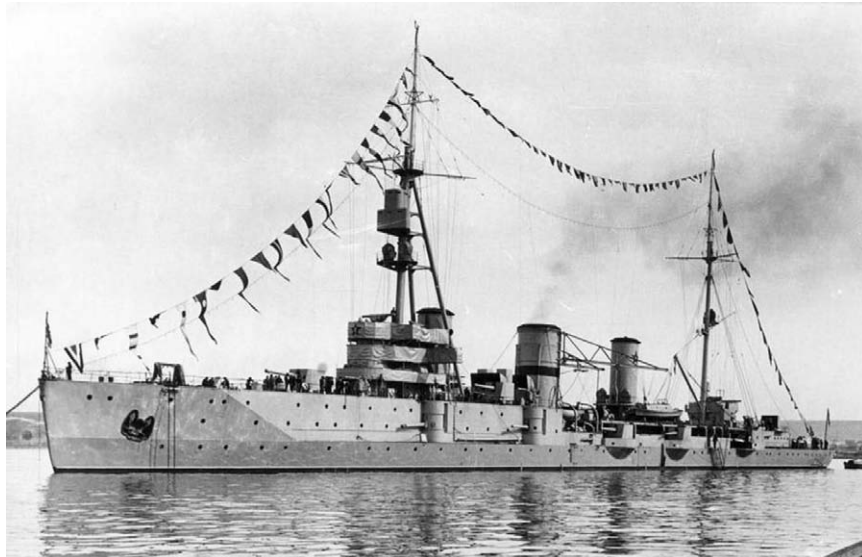
логичное высочайше утвержденное положение Совета министров было принято по компаниям «Сименс-Гальске» (завод им. Козицкого) и «Сименс-Шуккерт» (завод «Электросила») и по ряду других.

Хорошие перспективы складывались для ВКЭ на 1917-й и последующие годы. В Петрограде на Балтийском заводе ждали достройки линейные крейсера «Измаил», «Кинбурн», а на Адмиралтейском – «Бородино» и «Наварин», на Северной верфи – легкие крейсера «Адмирал Бутаков» и «Адмирал Спиридов», а также отбуксированные из Ревеля в Петроград легкие крейсера «Светлана» и «Адмирал Грейг», в Николаеве на заводах «Руссуд» и «Наваль» шли достроечные работы на линкорах «Императрица Мария», «Александр III», «Екатерина II» и «Николай I» и на легких крейсерах «Адмирал Нахимов», «Адмирал Лазарев», «Адмирал Истомино» и «Адмирал Корнилов».

Однако события октября 1917 г. радикально изменили жизнь России. 9 декабря 1917 г. новая власть опубликовала «Обращение о прекращении изготовления предметов военного снаряжения и переходу к производству предметов мирного обихода». Оно распространялось также на военное судостроение. Так, на стоявших на Адмиралтейском заводе в достройке легком крейсере «Светлана» (в 1925 г. переименован в «Профинтерн», с 1939 г. – «Красный Крым») и миноносце «Михаил», отбуксированных из Ревеля вследствие военной угрозы, с 25 марта 1918 г. были прекращены работы в соответствии с письмом № 20251 от правительственного управления ревельского «Русско-Балтийского» завода, в котором сообщалось о соответствующем распоряжении

Главного управления кораблестроения (ГУК) от 8 марта 1918 г. № 796. Еще ранее письмом № 10544 от 21 ноября 1917 г. в адрес ВКЭ ГУК приостановило работы по нарядам на крейсерах «Адмирал Лазарев», «Адмирал Корнилов», «Адмирал Истомино», «Адмирал Бутаков», «Адмирал Спиридов», «Адмирал Грейг» и на эскадренных миноносцах. Строительство новых кораблей прекратилось на долгие годы. В Петрограде без работы оказались многие тысячи рабочих и служащих. Из города начался массовый отток населения, положение осложнялось нехваткой продовольствия и топлива. Несмотря на то, что в составе работ ВКЭ гражданское производство имело значительный вес, компания также стала резко терять численность рабочих и служащих. Прекращение военного судостроения и перебазирование в Петербург и Кронштадт 226 кораблей и судов Балтийского флота из портов Балтики резко изменило характер производства военно-морского отдела ВКЭ и его производственных подразделений за счет увеличения объемов работ по ремонту и консервации электрооборудования на морских заказах. Положение спасало то, что склады компании были заполнены электрооборудованием, осевшим там из-за прекращения строительства флота.

Для руководства промышленностью Петрограда новая власть в первые же дни создает Совет Народного Хозяйства Северного района – СНХСР, который вводит секционный порядок управления промышленностью, при этом электротехнические предприятия СНХСР, том числе и ВКЭ, с января 1918 г. стали управляться электротехнической секцией, просуществовавшей до конца 1921 г. Такое же секционное управление было



Легкий крейсер «Профинтерн». До 1925 г. – «Светлана», с 1939 г. – «Красный Крым»

применено и на других производствах Петрограда.

28 июня 1918 г. за подписью Ленина был издан Декрет СНК о подготовке промышленности к национализации и объединению крупных предприятий. В стране начались поиски нового порядка управления ими. Выбрали трастовскую систему. Началась в промышленности Петрограда полоса бесконечных преобразований и переименований. 19 марта 1919 г. вышли постановление ВСНХ о национализации крупных предприятий и Положение о создании Электротреста (Объединения государственных электротехнических предприятий, или ОГЭП).

Во исполнение этих постановлений были организованы три треста: сильного тока, слабого тока и кабельного производства.

ВКЭ вошла в состав треста сильного тока вместе с девятью заводами («Сименс-Шуккерт», «Динамо», «Светлана» и др.), в состав треста слабого тока – восемь заводов и в состав кабельного производства – четыре. Предприятия этих трестов были выведены из-под руководства электротехнической секции СНХСР и переданы во вновь созданный в Петрограде «Электротрест», «руководство которым осуществлялось «Электроотделом» при ВСНХ. Каждое предприятие организовало при «Электротресте» для оперативного руководства секцию из нескольких работников, общая численность которых превысила 200 человек и стала трудно управляемой. В связи с этим как число секций, так и число работающих в них подвергались неоднократному сокращению. Так, секция ВКЭ была объединена с секциями заводов «Динамо» и «Сименс Шуккерт» под названием «Электросила».

Вскоре укрупненные секции сильного тока (укрупненных осталось четыре вместо десяти) 9 июля 1920 г. решением центрального правления «Электротреста» были объединены в одну секцию с сохранением названия «Электросила». III съезд совнархозов ликвидировал СНХСР и на его базе создал 29 января 1920 г. Петроградский губернский СНХ. Ему по постановлению ВСНХ от 19 ноября того же года были переданы все крупные предприятия из «Электротреста» обратно в электротехническую секцию. Однако в его структуре перед этим произошли очередные преобразования: секциям, входящим в состав укрупненной секции «Электросила», было предложено с 30 сентября прекратить свои действия, а правлению укрупненной секции с 1 октября 1920 г. начать работу

в составе общей части, производственной и проектно-строительной. Первые две расположились на Екатерининском канале²⁵, а отделы и службы секции ВКЭ вошли в состав третьей – новой структуры отдела сильного тока электротехнической секции ПСНХ, которая осталась на Мойке, 38, при этом наименование ВКЭ исчезло из обихода.

Новая структура «Электротреста» просуществовала менее двух месяцев. Предприятия, переданные обратно в электротехническую секцию, вскоре в порядке совершенствования структуры ПСНХ подверглись новой реорганизации. 14 мая 1921 г. на коллегии электросекции по докладу члена коллегии М. Каменского функции разделялись на заводское дело, электростроительство и эксплуатация электроустановок. Проектно-строительная часть была выведена из отдела сильного тока и объединена с отделом электрификации – появилась электрификационно-строительная часть. Ее управление включало отделения: технико-инструкционное, делопроизводственное, общеплановое, центральных станций, железных дорог, промышленных установок и военно-морское. Последнее, в свою очередь, состояло из отдела управления и делопроизводства, отдела линейных кораблей, подводных лодок и речных судов, отдела крейсеров и миноносцев, монтажного отделения и чертежного отдела [3].

Нетрудно убедиться, что электрификационно-строительная часть сохраняла структуру после неоднократных преобразований ВКЭ. В сентябре 1921 г. электротехнической секции ПСНХ был повышен статус до уровня

управления, при этом она получила наименование «Петроградское губернское электротехническое управление» (Петрогубэлектро), которое было ликвидировано с 1 января 1922 г. ввиду радикальных перемен в промышленности и сельском хозяйстве, вызванных решением X съезда партии о введении в России новой экономической политики. Как результат этого решения в октябре 1921 г. на базе ПСНХ в Петрограде ВСНХ создает Северо-Западное промышленное бюро, которое 14 декабря того же года принимает решение об организации трех новых трестов: аккумуляторного, телеграфно-телефонного и электромашиностроительного (Эльмаштреста) для работы в новых экономических условиях на принципах хозрасчета и самофинансирования.

В состав Эльмаштреста были переданы заводы «Сименс-Шуккерт», Северный кабельный завод (ныне – завод «Севкабель»), завод «Светлана», «Сименс-Шуккерт-Ф» («Электроаппарат»), завод Дека («Электрик»), Проектно-монтажная часть и четыре склада в Петрограде.

9 декабря 1921 г. проектно-строительная часть Петрогубэлектро была реорганизована в проектно-монтажную часть треста сильного тока, в которую вошли отделы: общий коммерческий, центральных станций, железных дорог, военно-морской, промустановок, технико-инструкторский, общеплановый, эксплуатации [4].

Все остальные, относящиеся к слабому току и аккумуляторному производству, подлежали передаче в ближайшие дни соответственно остальным трестам. Передаче тресту слабого тока подлежали телефонный отдел, во-



Электромонтажники «Эльмаштреста», 1923 год



Здание Проектно-монтажной части Электромашиностроительного треста на набережной реки Мойки, 38

енно-морской отдел слабого тока и отдел железнодорожной сигнализации.

Ежегодник «Весь Петроград» уже рекламировал Проектно-монтажную часть электромашиностроительного треста: «Бывшие электротехнические предприятия: «Всеобщая компания электричества», «Симменс-Шуккерт» и «Динамо» в составе их отделов «Центральных станций», «Промышленных установок», «Железнодорожного» и «Военно-морского» принимают заказы на полное сооружение районных станций, городов, сел и деревень оборудование: фабрично-заводских и сельскохозяйственных сооружений, железных дорог, городских трамваев, военных, морских и торговых судов, а также на выработку проектов и смет, консультацию по всем вопросам электротехнических сооружений... Просим обращаться по адресу: Проектно-монтажная часть Электромашиностроительного треста, Мойка, 38».

В составе «Эльмаштреста» Проектно-монтажная часть начала действовать с 1 января 1922 г., т. е. с первых дней его работы. В соответствии с «Положением об организации и деятельности...» эта часть как самостоятельный автономный орган, занимающийся проектными, электростроительными работами и поставками, должна дополнять работу заводов путем установки предметов производства и создания сооружений, производящих электроэнергию или потребляющих ее; вправе проводить в случае

получения на то заказы рассмотрение проектов; вести непосредственные переговоры с заказчиком [5].

Численность рабочих треста на 13 октября 1922 г. составляла 2587 человек, а Проектно-монтажной части – 147.

Подробное объяснение образования проектно-монтажной части неслучайно. В ряде публикаций утверждается, что Проектно-монтажная часть была утверждена на основании «электромонтажных компаний Н. К. Гейслера» постановлением ВСНХ, а ее организатором и основоположником был В. И. Полонский. Но каких-либо документов о «электромонтажных компаниях Н. К. Гейслера», как и о роли В. И. Полонского, в архивах Санкт-Петербурга обнаружить не удалось. Сама компания Н. К. Гейслера (ныне – Завод имени А. А. Кулакова) в то время существовала в Петербурге, но занималась изготовлением изделий слабого тока (телефоны, телеграфы и т. п.), в том числе и для нужд судостроения. Во время создания Проектно-монтажной части В. И. Полонский был молодым инженером военно-морского отдела ВКЭ, руководителем – инженер С. Ф. Якубов, до этого возглавлявший отдел центральных станций ВКЭ. Впоследствии он стал главным инженером отделения ВМФ Электротехнического треста ВСНХ СССР.

Проектно-монтажная часть, переданная в состав «Эльмаштреста» в декабре 1921 г. при разделении

Проектно-строительной части сильного тока, практически была создана из отделов и служб бывшей компании ВКЭ, в связи с чем были сохранены условия для ее военно-морского отдела стать основным исполнителем работ в 1917–1924 гг. по консервации, ремонту и модернизации электрооборудования на объектах ВМФ, в том числе на линкорах Балтийского флота «Петропавловск», «Гангут» и «Полтава» [6], а также других заказах [7], а с 1921 г. и по достройке легких крейсеров «Светлана» и «Адмирал Бутаков» на Балтике и «Адмирал Нахимов» и «Адмирал Лазарев» в Николаеве. Необходимо отметить, что деятельности военно-морского отдела ВКЭ уделялось особое внимание. Так, 22 апреля 1921 г. коллегией электроотдела ВСНХ было принято решение об организации в Петрограде самостоятельного строительного бюро по военно-морским работам, но коллегия электросекции ПСНХ признала данное решение нецелесообразным – такие работы выполнял военно-морской отдел электросекции ПСНХ, которому, учитывая их важность и срочность, были созданы особые условия в части внеочередного финансирования и обеспечения материалами» [8]. В результате вопрос был отложен до осени 1924 г.

В ноябре 1924 г. последовала очередная реорганизация «Эльмаштреста», в результате которой из его состава после необходимых подготовительных мероприятий был выведен военно-морской отдел и на его базе создано Ленинградское военно-морское строительное бюро государственного электротехнического треста ВСНХ СССР [9]. Эта структура, быстро развиваясь, стала основой для появления в отечественном судостроении нового направления – судового электромонтажного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЦГИА СПб. Ф. 1367. Оп. 8. Д. 412.
2. Там же. Ф. 1367. Оп. 1. Д. 439.
3. ЦГА СПб. Ф.р-1303. Оп. 1. Д. 6.
4. Там же. Ф.р-1303. Оп. 1. Д. 6.
5. Там же. Ф.р-1303. Оп. 1. Д. 188.
6. ЦГИА СПб. Ф. 1367. Оп. 3. Д. 798.
7. ЦГА СПб. Ф.р-1303. Оп. 1. Дд. 225, 229, 232 233, 235, 236.
8. Там же. Ф.р-1866. Оп. 3. Д. 1.
9. Там же. Ф.р-6199. Истор. справка. ■

8 сентября 1941 г. немцы захватили Шлиссельбург. Таким образом к 9–11 сентября Ладожское озеро стало единственным путем подвоза питания Ленинградского фронта всеми видами довольствия. По приказанию руководства страны ВМФ взялся за важное и ответственное дело – обеспечение снабжения города Ленинграда по водному участку пути.

Уже 11 сентября была создана специальная организация по перевозкам. Возглавил ее уполномоченный Ленинградского фронта по перевозкам для снабжения Ленинграда всеми видами довольствия заместитель начальника тыла генерал-майор А. М. Шилов. В помощь ему были назначены на основании предписания заместителя наркома ВМФ и члена Военного Совета Ленинградского фронта адмирала И. С. Исакова инспекторами по морским перевозкам полковой комиссар А. Т. Караваев, а с 15 октября 1941 г. капитан 2 ранга В. З. Роговешка. Уполномоченный и весь его аппарат базировался в Новой Ладоге [1].

Перевозки осуществлялись по заданиям, выдаваемым из Ленинграда, при этом планом перевозок устанавливалось, что и когда нужно привести. Вместе с тем в условиях военных действий удавалось выполнять установленный план перевозок только в отдельные декады. Первоначально в распоряжении А. М. Шилова для обеспечения перевозок следующие плавсредства имелись:

- 29 барж, но только 12 из них были пригодными для условий озерного плавания;
- 4 озерных буксира («Никулясы», «Орел», «Морской лев», «Буй»);
- 15 буксиров канально-речного типа (использовались для перевалочных и рейдовых работ);
- 5 транспортов («Чапаев», «Стенсо», «Совет», «Вилсанди», «Илга»);

К буксировке привлекались корабли Ладожской военной флотилии: 11 тральщиков, 5 канонерских лодок («Нора», «Буря», «Бира», закупленные в довоенное время в Германии и хорошо вооруженные носовой артиллерией, «Лакта» и буксир ледокольного типа «Шексна»). Эти корабли ходили с грузами или конвоировали караваны. Неприятельские самолеты опасались мощного носового вооружения кораблей и стремились заходить для атаки с кормы. Корабли успешно маневрировали, искусно противодействуя уловке врага [2].

Корабли ходили успешно и в условиях ледостава, ломая 25-сантиметровый лед, правда, получали повреждения, но случаи серьезной деформации корпуса были сравнительно редки. Объем операции, потери и тяжелые

СНАБЖЕНИЕ ЛЕНИНГРАДА ПО ЛАДОЖСКОМУ ОЗЕРУ В УСЛОВИЯХ БЛОКАДЫ (8 СЕНТЯБРЯ - 1 ДЕКАБРЯ 1941 Г.)

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,

С.В. Федюлов, д-р истор. наук, доцент, проф.

Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского,
член-корр. Академии военных наук,

В.В. Соколов, начальник курса факультета СПО

Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского,

контакт. тел. (812) 347 9604



Первый караван с хлебом для блокадного Ленинграда идет по Большой ладожской трассе, 12 сентября 1941 г.

условия навигации показали, что различных плавсредств явно недостаточно, особенно буксиров и барж. В мирное время буксиры тащили по 7–8 барж, даже по 10, а в условиях военной обстановки обычно 1–2, максимум 3 баржи. Во время частых воздушных налетов опасно было рисковать потерей нескольких барж с ценным грузом.

До 17 сентября 1941 г. людей перевозили главным образом на баржах. В ночь с 16 на 17 сентября 1941 г. на Ладожском озере произошла трагедия. Уже больше недели Ленинград находился в блокаде, и командование приступило к эвакуации людей. 16 сентября пришла очередь курсантов Высшего военно-морского инженерного училища имени Ф. Э. Дзержинского, до порта Осиновец добрались 408 человек, помимо них еще 800 учащихся из других заведений Ленинграда. Некоторые брали с собой жен, детей, родителей и дедушек с бабушками, поэтому точное количество народа, собравшегося в тот день возле Осиновецкого маяка, неизвестно. По разным данным, от 1200 до 1500 человек [3].

Для транспортировки людей из Осиновца в Новую Ладогу – 160 км пути по Ладожскому озеру – выделили большую деревянную баржу № 752, на которой в довоенное время перевозили скот. На верхнюю палубу плавучего сарая поместили две груженные полу-

торки и несколько легковушек. Все это хозяйство должен был тащить за собой буксир «Орел».

Опытный капитан И. В. Ерофеев почувствовал неладное: жуткий перегруз и непредсказуемая погода на Ладоге сулили крайне экстремальное путешествие. Но счет времени шел на часы, если не на минуты, поэтому на реплики капитана никто не отреагировал. Более того, решено было отправляться в 21.00, чтобы большую часть 15-часового маршрута преодолеть в темноте. Это снижало риск попасть под обстрел с воздуха.

Плавание началось при полном штиле. Спустя несколько часов когда многие уже спали, поднялась буря, которой так опасался Ерофеев. Волны били баржу до тех пор, пока не оборвался трос, соединявший ее с «Орлом». Вскоре стихия вырвала из бортов баржи куски деревянной обшивки, а в трюм хлынула вода (температура воды была около +10 °С, воздуха +4 °С) [4].

Несмотря на жуткий затор у выхода, народ без давки и паники выбрался на палубу. Люди увидели бушующую в 8-балльном шторме Ладогу и буксир, который волны отгоняли прочь. Помощи ждать не приходилось, поэтому все кинулись спасать баржу от затопления. Крепкие курсанты столкнули за борт автомобили, все остальные принялись откачивать воду. Черпали даже беско-

зырками, кто-то пытался заткнуть щели в трюме одеждой. И все это в условиях шторма, когда каждая новая волна смывала за борт по несколько человек.

Вскоре стало понятно, что откачивать воду бессмысленно. Когда палуба баржи осела до уровня моря, офицеры увели в рубку женщин и детей. В целом, несмотря на ужас ситуации, большинство людей не задумывалось о спасении собственной шкуры. Многие старались помочь другим, отчаянно бросаясь в воду. Часто ценой мужества оказывалась жизнь.

Но отдельные курсанты, понадеявшись на физподготовку, прыгали за борт и пытались добраться до берега вплавь (все погибли). Надеяться было не на что: шлюпки на барже отсутствовали, спасательные жилеты и круги — тоже [5].

С рассветом на месте трагедии появились «мессершмитты». В тонущих людей полетели бомбы и пулеметные очереди. С баржи в ответ палили из пулеметов и винтовок, но немцам это не причиняло вреда. Буря усиливалась. Мощная волна ударила в рубку и смыла ее за борт вместе с людьми. Следующий вал угодил в центральную части баржи, погубив еще сотни человек.

Наконец буксир «Орел» подошел к 752-й барже, от которой на поверхности воды виднелись лишь носовая часть и корма. Под ударами волн матросы «Орла» подняли на борт 216 человек — больше просто не вмещалось. Подошедшая к 16 часам дня канонерка «Селемджа» подобрала с обломков баржи последних выживших — еще 24 человека. Более 1000 людей ушло под воду вместе с обломками баржи. Из 408 курсантов ВВМИУ им. Ф. Э. Дзержинского спаслись только 84. Для подавляющего большинства женщин, детей и стариков это плавание оказалось последним.

После этой катастрофы новый командующий Ладужской флотилией капитан 1 ранга В. С. Чероков запретил перевозку людей на подобных баржах [6]. Людей начали перевозить на самоходных плавсредствах (канонерских лодках, тральщиках, транспортах и самоходных тендерах) [7].

Использовать транспортные средства планировалось так, чтобы на перевалочном пункте и «на колесах» создавался запас грузов, можно было выбирать, что отправлять дальше в Ленинград. Задания на очередность доставки грузов в город устанавливали первый секретарь Ленинградского областного комитета ВКП (б), член Военного совета Ленинградского фронта А. А. Жданов и Председатель Ленинградского городского совета, член Комиссии по вопросам обороны Ленинграда П. С. Попков. В Тихвине находил-



Баржа № 752. «Вахта памяти»



Баржа № 752 и буксир «Орел»



ся второй секретарь Ленинградского обкома ВКП (б) Т. Ф. Штыков, который занимался вопросами получения грузов, адресуемых в Ленинград Москвой [8].

После того как немецко-фашистские захватчики заняли г. Тихвин, положение со снабжением Ленинграда значительно ухудшилось. Правда, из этого положения выходили, используя запас продовольственных грузов, боезапаса и горючего, созданного на базах: к этому моменту имелось примерно 20 тыс. т. Пришлось для транспортировки грузов проложить шоссейную дорогу от ст. Ефимовская до Новой Ладogi.

Экипажи кораблей, привлекаемых к перевозкам грузов, работали с полной самоотдачей. Особенно отмечались капитаны и команды буксиров Госречпароходства и кораблей, имевшие опыт плавания в данном бассейне и навыки буксировки барж. Корабли, которыми управляли командиры флота, не имевшие такого опыта (канонерские лодки, некоторые тральщики), работали хуже. Некоторые из них иногда топили буксируемые ими баржи, как, например, тральщик № 27 «Шексна» [9].

За отличные действия к наградам были представлены командир тральщика № 37 (переоборудованное судно «Боевой») А. В. Борисов, командир тральщика № 81 И. А. Тютчев, командир буксира «Орел» И. В. Ерофеев [10].

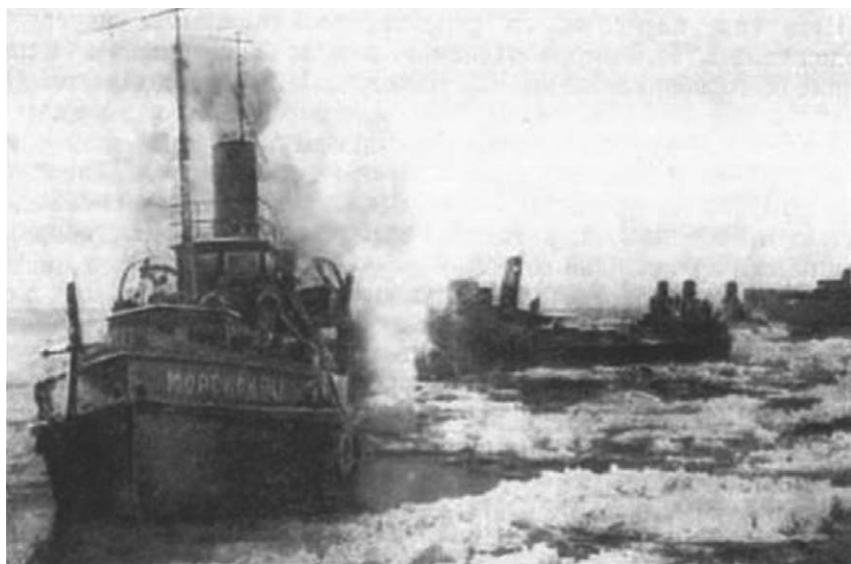
Необходимо отметить, что приходилось работать в тяжелых условиях. Пристаней не было, погрузочно-раз-

грузочных приспособлений оказалось недостаточно, корабли по своей осадке были не в состоянии подходить к берегу. Глубина на берегу Новой Ладogi составляла 1,62 м, а осадка судов составляла в зависимости от типа корабля от 1,85 м до 1,90 м. Корабли и суда ломали винты. Например, тральщик № 37 ломал свои винты, а для их смены приходилось каждый раз тратить 12 часов на переход до Свирских мастерских. Недалеко от Осиновца велись дноуглубительные работы, но этого было недостаточно. Приходилось одновременно и возить грузы, выполнять дноуглубительные работы и создавать пристанское хозяйство.

Следует признать, что дноуглубительные снаряды первоначально были затоплены Госречпароходством в р. Свирь для того, чтобы их не уничтожила вражеская авиация. Поэтому в последующем их пришлось поднимать из воды и готовить для эксплуатации [11].

Пароходство не обустроило соответствующим образом береговые подходы к пристаням, ставшими во время блокады важными участками водного пути. Флот этим вопросом заблаговременно также не занимался. В связи с этим пришлось срочно углублять подходы к бухте Гольцмана в районе Осиновца и прокладывать железнодорожную ветку к пристани и в бухту Морье [12].

Большие трудности ощущались и с обеспечением кораблей, занимающихся перевозкой грузов по Ладуж-



Караван судов на Ладожском озере, уже частично покрытым льдом, конец навигации 1941 г.

кому озеру, топливом. Иногда из-за его отсутствия груженные караваны стояли по 2–3 дня у пристани, при этом тратилось драгоценное время. До ледостава топливо так и не было завезено в базы кораблей. Перевозить топливо пришлось потом на грузовых машинах и санях, буксируемых тракторами. Вместе с тем командование Ладожской военной флотилии также не позаботилось о своевременном обеспечении топливом. Сказывался и недостаток барж [13].

Еще одной нерешенной проблемой, которая была не предусмотрена, было гидрографическое обеспечение транспортировки грузов в ночное время, например, близ маяка Сухова. При возможности обхода маяка с севера значительно сокращалось время перехода, экономилось топливо, на меньшее время отвлекались самолеты прикрытия. Главное гидрографическое управление своевременно не обеспечило плавания на этом театре морских действий. Капитаны пароходства, знакомые с условиями плавания в данном районе, работали более и менее успешно, командиры кораблей Ладожской военной флотилии чувствовали себя менее уверенно, имея все основания опасаться плавать при отсутствии знаков ночной обстановки [14].

В данный период в ходе эксплуатации водного пути было очень плохо организовано метеорологическое обеспечение. Погода на Ладожском озере очень изменчива, особенно в осенне-зимний период. До войны сведения о погоде в виде сводок получали с различных станций Скандинавского полуострова, из Финляндии. С началом войны метеорологическая служба работала плохо. Сведения о погоде давали только посты, расположенные на побережье. Поэтому возникала неуверенность

в возможности выхода каравана с грузами в то или иное время. Как следствие – поломанные и выброшенные на берег баржи, человеческие жертвы. Нередко баржи с грузами отправляли в условиях волнения 3–4 балла, а в пути к утру их заставлял шторм в 7–8 баллов. Так, например, было с баржой, груженной селитрой. Буксировал ее тральщик № 27, командир которой, не имея большого опыта, обрубил буксирный трос и потерял как баржу в 1000 т с важным грузом, так и дефицитный в тех условиях буксирный трос. Следует отметить, что если бы баржа находилась в движении она бы не погибла [15].

В конце навигации работать приходилось в тяжелых условиях ледостава, который начался 5–15 ноября 1941 г. К этому времени крепкий лед образовался на реке, а затем и на озере. Около месяца буксиры работали в труднопроходимых для них льдах. Толщина льда составляла 25–30 см. Корабли ломали винты, а иногда форштевни. Приходилось подрывать взрывчаткой скопления льда. На участке устья р. Волхов 10 матросов около недели вытаскивали лед вручную, чтобы очистить фарватер от больших глыб льда [16].

Все это усугубляла некомпетентность в морских вопросах и в вопросах эксплуатации водного транспорта уполномоченного Ленинградского фронта по перевозкам. В их организации было допущено большое количество упущений. Так, например, можно было значительное количество грузов перевезти на самоходных шаландах и канонерских лодках. Они могли принять на борт до 200 т груза, но своевременно этого не сделали, а начали использовать данные плавсредства только тогда, когда стало затирать баржи льдом. Использование самоходных шаланд и канонерских лодок осуществлялось лишь

в ходе дополнительных перевалочных операциях на рейде от причала до баржи и обратно [17].

Исключительная ценность каждого транспорта с грузом, идущим в блокадный Ленинград, заставляла уделять особое внимание вопросам их воздушного и надводного прикрытия. Единственной серьезной угрозой для ладожской коммуникации на тот период являлась авиация противника. Вражеские корабли осенью 1941 г. ни разу не рискнули совершить нападение на караваны. При этом, по неподтвержденным сведениям, авиацией противника мины сбрасывались, но ни один корабль не подорвался. Даже контрольное траление не проводилось. Поэтому эскорт конвоев через Ладожское озеро главной задачей имел защиту транспортных судов и буксиров от воздушного нападения [18].

Вместе с тем следует отметить, что до 1 сентября 1941 г. воздушного прикрытия водной трассы снабжения блокадного Ленинграда не было. Имели место лишь отдельные случаи вылета самолетов. После 1 сентября для воздушной охраны караванов судов, следовавших с грузами по Ладожскому озеру, были выделены истребители морской и армейской авиации Новолadoжской группы. Воздушная трасса прикрытия была разделена на два участка: рейд Волховстроя–меридиан маяка Кареджи, маяк Кареджи–Осиновец. Около Новой Ладogi в летнее время постоянно велось воздушное патрулирование советскими истребителями. По готовности барж, когда с рейда Новой Ладogi выходили караваны судов, истребители вылетали на их прикрытие попарно, иногда звеном [19].

Авиационное прикрытие придавало уверенность командам судов, успокаивало их, однако присутствие истребителей прикрытия нередко приводило к тому, что вражеские летчики бесприсельно сбрасывали бомбы, чтобы иметь возможность вступать в бой с советскими самолетами [20].

Следует отметить, что координации выхода и движения судов с вылетом самолетов прикрытия уделялось большое внимание. Благодаря этому имели место только два случая несвоевременного вызова самолетов. Для того чтобы реже отвлекать самолеты прикрытия от выполнения других задач, руководство перевозок стремилось сформировать караваны к наступлению темноты. Часа два самолеты прикрывали суда, затем в условиях длинных ночей караваны двигались самостоятельно. Из Новой Ладogi суда старались выходить в 14–15 часов. При нормальных условиях переход буксира с баржей занимал 14–16 часов, а порой 12 часов.

Иногда самолетам приходилось прикрывать караваны большую часть перехода. Это были случаи, когда суда выходили с опозданием. Помимо этого, каждый караван в составе буксира и двух барж конвоировал вооруженный пароход, а именно канонерская лодка или тральщик, которые в случае необходимости могли также отражать воздушный налет [21].

Однако и противник приспособился к данной тактике. Особенно активно вражеская авиация действовала в лунные ночи. Потери от воздушных атак были немалые. Иногда враг топил по четыре баржи. Потери же в грузах от воздушных нападений были незначительными. Суда от шторма или от бомб топили, а грузы большей частью спасали водолазы: они поднимали боезапас, муку обычно выбрасывало на берег (она не портилась, так как образовывалась корка в мешках). Но время, конечно, тратилось, грузы в Ленинград приходили позже [22].

Важнейшую роль в обеспечении перевозок в 1941 г. сыграла Ладожская военная флотилия. Она обеспечивала перевозки конвоем, материальным

снабжением и совместно с Госречпароходством ремонтом судов. В период ледостава флотилия предоставляла для перевозок боевые корабли. Канонерская лодка могла принять 200 т грузов. Сторожевые корабли «Пурга» и «Конструктор» использовались в качестве транспортов и буксиров. Корабль «Конструктор» перевозил до 200 человек [23].

Таким образом флот проделал колоссальную работу, организовав бесперебойное снабжение блокадного Ленинграда в то время, когда Ладожское озеро было единственной транспортной артерией. О масштабах перевозок, совершенных в исключительно тяжелых условиях, свидетельствуют следующие цифры: за период с 11 сентября по 1 декабря 1941 г. было перевезено из Новой Ладоги в Ленинград примерно около 60 тыс. т всех видов продовольственных грузов, боеприпасов всех калибров армейской и морской артиллерии, горючего и людей. Людские перевозки осуществлялись в обе стороны – эвакуация из Ленинграда и переброска нескольких маршевых батальонов в Ленинград [24].

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиал Центрального архива МО РФ (архив ВМФ, г. Гатчина) (далее – филиал ЦАМО РФ). Ф. 505. Оп. 8. Д. 43. Л. 1.
2. Там же. Л. 2.
3. Трагедия ладожского «Титаника» – [Электронный ресурс] <https://picture-history.livejournal.com/5226633.html> (дата обращения 05.09.2022)
4. Там же.
5. Там же.
6. Там же.
7. Филиал ЦАМО РФ (архив ВМФ, г. Гатчина). Ф. 505. Оп. 8. Д. 43. Л. 2.
8. Там же. Л. 2.
9. Там же. Л. 3.
10. Там же. Л. 3
11. Там же. Л. 3.
12. Там же. Л. 4.
13. Там же. Л. 4.
14. Там же. Л. 4.
15. Там же. Л. 4–5.
16. Там же. Л. 5.
17. Там же. Л. 5.
18. Там же. Л. 5.
19. Там же. Л. 6.
20. Там же. Л. 6.
21. Там же. Л. 6.
22. Там же. Л. 7.
23. Там же. Л. 7.
24. Там же. Л. 7. ■

Среди многочисленных преобразований Петра Великого военные реформы занимают особое место: государь хорошо осознавал, что без укрепления обороноспособности страны и создания армии нового типа совершенно невозможно решать сколько-нибудь значимые внешнеполитические задачи. Первоочередной и наиболее трудной из них было восстановление выхода к Балтийскому морю, утраченному в годы Смутного времени начала XVII в. В течение 21 года Россия вела изнурительную войну с «короной Шведской», главной целью которой изначально как раз и было возвращение исконно русских земель в Ингерманландии. Для страны это было особенно важно, поскольку возрастание ее внешнеполитической мощи требовало решения животрепещущей задачи – создания флота, который мог бы помочь и в боевых действиях против Швеции, и во влиянии на европейские дела в целом.

Детально вникая во все военные дела и постоянно заботясь о развитии потенциала российской армии, Петр, познакомившийся с реалиями европейской политики, прекрасно понимал значение идеологического обоснования собственных притязаний на территории, которые шведы привыкли считать своими. В дополнение к этому необходимо было использовать все возможные средства для укрепления боевого духа русской армии. Значимым средством для разрешения и одной, и другой проблемы стало пря-

УЧАСТИЕ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА В ПЕРЕНЕСЕНИИ МОЩЕЙ АЛЕКСАНДРА НЕВСКОГО В САНКТ-ПЕТЕРБУРГ В 1724 г.*

Р.А. Соколов, д-р истор. наук, гл. науч. сотрудник Санкт-Петербургского государственного университета, директор Института истории и социальных наук Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена, контакт. тел. +7 (921) 307 8031



Рис. 1. Перенесение мощей Александра Невского, 1862 г. Типолитография А.И. Мамонтова. Москва, бумага, литография. – Древлехранилище Александровской лавры

мое указание на исторические примеры, которые доказывали исконность прина-

лежности России отторгнутых у нее в годы Смуты земель [1].

* Работа выполнена при поддержке РНФ, проект № 21-48-04402.

Необходимо подчеркнуть, что государь хорошо знал отечественную и всемирную историю: в юные годы он читал летописи, среди его книжного собрания имелись рукописи исторического содержания, он интересовался различного рода артефактами «минувших лет» – старинными пушками, монетами, печатями и т.д. [2]. Петр I понимал, что одним из наиболее известных его предшественников был Александр Невский, успешно противостоявший в XIII в. тому же врагу – шведским притязаниям на Припечье.

В конце XVII в. историческая память об этом национальном герое была тесно связана с его восприятием в общественном сознании как православного святого [3]. Житие князя, особенностью которого являлось даже более подробное, нежели в летописи описание Невской битвы 1240 г., стало одним из наиболее читаемых на Руси текстов [4]. Было бы излишним подробно останавливаться на широко известных фактах почитания Александра Невского лично Петром и на описании стремления государя связать историческую память о нем с идеологией нового государства – Российской империей и ее столицей – Санкт-Петербургом. Наш город изначально имел определенное уже собственным именем небесного покровителя – Святого апостола Петра; Александр же стал вторым, русским патроном столь любимого императором «Парадиза». Напомним, что среди прочего это выразилось в основании Александро-Невского монастыря, перенесении в него из Владимира в 1723–1724 гг. мощей святого [6], установлении нового иконописного (великокняжеского) канона изображения князя, сменившего прежде намного более распространенный монашеский [6].

Историки не однажды обращались к рассмотрению указанных выше сюжетов, но, как представляется, всякий раз вне фокуса их внимания оставался один значимый аспект, суть которого в наличии обстоятельств, указывающих на желание Петра одновременно связать историческую память о святом Александре Невском с русским флотом.

На мысль об этом в первую очередь наталкивает то, каким образом 30 августа 1724 г. была организована церемония доставки из Шлиссельбурга мощей Александра в созданный в его честь монастырь (рис. 1). Ларец, в котором они находились, был помещен на адмиральскую галерею. Император лично встал у руля судна, а к веслам сели его приближенные и первые сановники государства [7]. Этот широко известный факт позже стал основой для многочисленных живописных сюжетов, но еще более примечательно то, что,

по воспоминаниям присутствовавшего там Ф.- В. Берхгольца (находился на службе у герцога Карла-Фридриха Голштинского), к встрече галеры в акватории Невы у монастыря было собрано множество военных судов. Данные ими артиллерийские салюты сопровождали появление галеры, а затем и перенесение раки во вновь освященную церковь. Связь действия с флотом подчеркивалось еще и тем, что среди прочих кораблей почетное место занимал и знаменитый ботик, с которого началось увлечение царя морскими «потехами», давшими начало великому делу. Он, как вспоминал современник, стоял «на якоре впереди всех» и выстрелы его «маленьких металлических пушек» раздались первыми, дав сигнал первому салюту [8].

Иерархи петровского времени в своих проповедях иногда придавали «дедушке» русского флота почти сакральные свойства. Например, Феофан Прокопович в произнесенном в 1720 г. в «Слове похвальном о флоте российском» соотносил его значимость с Ноевым ковчегом: «О ботик, позлащенный достойный! Тщались нецни искать на горах Араратских доски ковчега Ноева, мой бы совет был ботик сей блюсти и хоронити в сокровищах на незабвенную память последнему роду» [9]. Учитывая это, следует признать, что участие этого судна в церемонии встречи получило особенное символическое значение: Александр Невский как бы благословлял не только в целом победы Петра, но и его важнейшее свершение – долгую, кропотливую работу по созданию мощного флота (рис. 2).

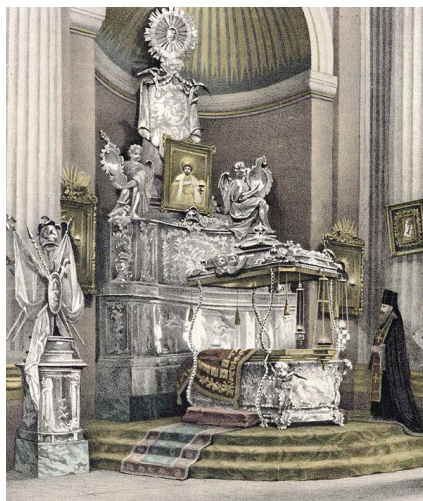


Рис. 2. Вид Гробницы Святого благоверного князя Александра Невского в Троицком соборе Александро-Невской лавры, середина XIX века. Бумага, литография тоновая, 43,2×57,5 см. – Дрвелехранилище Александро-Невской лавры

В дополнение к этому обратим внимание и на то, что Александро-Невский монастырь, в котором теперь находились мощи святого, к тому времени уже стал

главным поставщиком иеромонахов для замещения должностей судовых капелланов [7, 183]. Именно их формальному руководителю – обер-иеромонаху флота Гавриилу Бужинскому, одновременно имевшему сан архимандрита Троице-Сергиева монастыря – тогда же, 30 августа 1724 г. было поручено составить новую церковную службу Александру [6, 188] ПСП, в которой были бы отражены и перенесение мощей, и общие успехи политики Петра. Этот человек был лично знаком императору, он имел к тому же репутацию талантливого проповедника, не однажды прославлявшего с амвона Петра и одержанные под его началом победы [10]. Безусловно, государь должен был иметь в виду и его связь с военно-морскими делами через курирование подбора корабельных священников и последующее их контролирование.

Подчеркнем, что соотнесение деятельности Александра Невского с петровскими начинаниями в проповедях иерархов той эпохи – явление отнюдь не редкое, одной из причин для этого было желание обосновать в глазах народа правильность курса, по которому двигалась страна и необходимость на этом пути определенных жертв. Подобные сравнения нетрудно найти, например, у Феофана Прокоповича, известного, в том числе, своей горячей поддержкой создания и укрепления русского флота [9]. Использовал такие исторические аналогии еще задолго до полученного им поручения и Гавриил Бужинский [11]. Составленный им текст, наряду с сугубо богослужебной составляющей, содержал и прославления свершений Петра, в частности, в нем говорилось о благодарности Богу, «российскими кораблями Балтийское море украсившего» [12, 19]. Там же упоминались и «благополучие», и помощь, которую дают «государствам» «морские пристани» [12, 210б.].

Учитывая вышеизложенное, можно предположить, что Александр Невский с течением времени усилиями Петра Великого мог бы приобрести статус второго после Андрея Первозванного покровителя русского флота. На это указывает то, что, во-первых, в финальной и самой торжественной части церемонии перенесения его мощей столь активно были задействованы военные корабли, «компанию» которым составил к тому времени уже имевший глубоко символическое значение ботик. Во-вторых, посвященный Александру Невскому главный столичный монастырь изначально оказался тесно связан с флотом через институт корабельных капелланов, чей глава (обер-иеромонах флота) получил в 1724 г. составить новую службу святому князю (рис. 3). Наконец, в-третьих, сама эта служба и сопровождавший ее

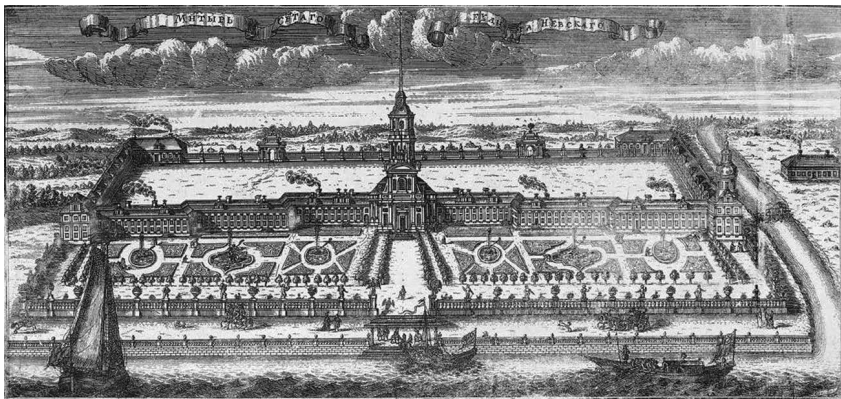


Рис. 3. Монастырь святого Александра Невского в Петербурге, 1716 г. Гравер Алексей Зубов. Офорт, резец, 31,3×48,5 см; 20×41 см. – Дрелехранилище Александро-Невской лавры

синаксарий (краткое описание жизни и посмертных чудес князя) содержали в себе упоминания о важности наличия военно-морских сил и, более того, прославление их особенной роли. Однако, закрепив за Александром Невским значение покровителя империи, ее столицы и правящей династии, Петр, как и во многих других случаях, просто не успел реализовать свой замысел – придать ему еще и значение небесного патрона русского флота. 28 января 1725 г. первый русский император скончался, и потому даже задуманный им орден Святого Александра Невского официально

учредила его преемница Екатерина I, впрочем, это уже совсем другая история.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рубинштейн Н. Л. Русская историография. – СПб., 2008, с. 64.
2. Пештич С. Л. Русская историография XVIII века. – Ч. I. – Л., 1961, с. 74–77.
3. Isoaho M. The Image of Aleksandr Nevskiy in Medieval Russia. Warrior and Saint. Leiden; Boston: Brill, 2006. (Автор – Мари Исоха, Isoaho M.).
4. Бегунов Ю. К. Житие Александра Невского в русской литературе XIII–XVIII вв. // Князь Александр Невский и его эпоха: Исследования и материалы / Под

ред. Ю. К. Бегунова и А. Н. Кирпичникова. – СПб., 1995, с. 164.

5. Журнал Владимирского Рождественного монастыря архимандрита Сергия (С 14 июля по 1-е октября 1723 г.) // Описание документов и дел, хранящихся в архивах Святейшего Синода. Т. III. (1723 г.) – СПб., 1878. Стб. CXXXI–CLII.
6. Полн. собр. постановлений и распоряжений по ведомству Православного исповедания Российской империи. – Т. IV. 1724–1725 января 28. – СПб., 1876. – №1318. – С. 148, 188.
7. Рункевич Г. С. Александро-Невская лавра. 1713–1913. – СПб., 1913, с. 183, 268.
8. Берхгольц Ф.-В. Дневник камер-юнкера Фридриха-Вильгельма Берхгольца (1721–1725) (Окончание) // Юность державы. – М., 2000, с. 246–249.
9. Феофан (Прокопович). Сочинения. – М.–Л., 1961, с. 94–103, 106.
10. О Гаврииле Бужинском. – В кн.: Бландов А. А. К биографии епископа Гавриила Бужинского // Христианское чтение. – 2013. – № 1. – С. 1–17.
11. Бужинский Г. Проповеди Гавриила Бужинского (1717–1722): Историко-литературный материал из эпохи преобразований. – Юрьев, 1901, с. 497–511.
12. Месяца августа 30 дня. Служба благодарственная Богу в Троице святей славному на воспоминание заключенного мира между Империею Российскою и короною швейскою. В той же день празднуется и перенесение мощей святого благоверного великого князя Александра Невского. – СПб., 1725, л. 19, 21 об. ■

25 октября 2022 г. в Санкт-Петербурге в музее судостроительного завода «Северная верфь» состоялась VI очередная отчетно-выборная конференция Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, на которой были подведены итоги деятельности в 2017–2022 гг. и определены основные задачи развития общества.

С приветственным словом выступил В. Л. Александров, Герой России,

VI ОТЧЕТНО-ВЫБОРНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ РОССИЙСКОГО НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СУДОСТРОИТЕЛЕЙ ИМЕНИ АКАДЕМИКА А. Н. КРЫЛОВА

РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011



В. Л. Александров

Почетный гражданин Санкт-Петербурга, доктор технических наук, профессор, возглавлявший Общество с 2002 по 2017 г. Он отметил, что модернизация судостроительной отрасли России – актуальное требование времени. В Российском НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова сосредоточены люди, знания и опыт которых востребованы и будут способствовать эффективному решению этой важнейшей государственно значимой задачи.

Ответственный секретарь Морского Совета при Правительстве Санкт-Петербурга Т. И. Чекалова в своем приветствии особо отметила, что профессионализм, ответственное отноше-

ние к делу являются отличительными чертами специалистов Общества, для которого приоритетным направлением за более чем полувековой период истории было и остается содействие инновационному развитию судостроительных предприятий отрасли и ответственного судостроения в целом.

В приветствии директора Департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга России Б. А. Кабакова подчеркнута важная роль Общества в распространении научных и технических знаний, установлении тесных связей между учеными и специалистами предприятий. Отмечено, что Общество с честью продолжает аккумуля-

лизовать и развивать передовой научно-технический опыт в сфере теории и практики судостроения.

В приветственном адресе члена коллегии Военно-промышленной комиссии РФ В. Я. Поспелова было подчеркнуто, что сегодня НТО судостроителей – крупнейший в России научный институт, инновационный центр сбора, генерации, накопления и передачи широкого спектра традиционных и новых знаний судостроителям для инновационного развития производства.

От имени Международного и Российского союза научных и инженерных общественных объединений в приветственном письме академика Ю. В. Гуляева дана высокая оценка работе НТО судостроителей с молодежью, отмечены успешные результаты подготовки и воспитания высококвалифицированных специалистов отрасли.



В.С. Никитин

С отчетным докладом о деятельности организации за прошедшие пять лет выступил президент НТО судостроителей В. С. Никитин.

С докладами также выступили: Л. И. Чубраева («О молодежной



Л.И. Чубраева

политике НТО судостроителей»), В. Н. Илюхин («О работе секции поисково-спасательной техники и технологии»), К. В. Рождественский («О международной деятельности Общества»), Г. Н. Муру («О региональной политике»), Л. М. Клячко («Участие в работе НТО судостроителей предприятий «Корпорации морского приборостроения»).

РЕШЕНИЯ:

1. Работа Центрального правления НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова в 2017–2022 гг. признана удовлетворительной.

2. Большинством голосов на новый срок Президентом НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова переизбран В. С. Никитин.



Г.Н. Муру

Научно-Технические Секции НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова

№	Наименование секции	Руководитель секции
1.	Мореходные качества судов Подсекция «Мореходные качества судов в штормовых условиях»	Добродеев Алексей Алексеевич Храмушин Василий Николаевич
2.	Проектирование судов	Кутейников Михаил Анатольевич
3.	Прочности и конструкции корпуса судна	Шишенин Евгений Александрович
4.	Судовых энергетических установок Подсекция «Арктическое судостроение»	Багерман Анатолий Захарович Попов Вячеслав Михайлович
5.	Технологии судостроения	Габдрафиков Юрий Михайлович
6.	Электроэнергетические системы Подсекция «Электромагнитная совместимость судовых технических средств»	Чубраева Лидия Игоревна Цицикин Георгий Николаевич
7.	Приборное и радиоэлектронное оснащение кораблей и судов Подсекция «Интеллектуальные технологии технических систем»	Коржавин Георгий Анатольевич Петров Олег Николаевич
8.	Техническая эксплуатация и судоремонт.	Муру Георгий Николаевич
9.	Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология	Малеев Павел Иванович
10.	Судостроительные материалы	Анисимов Андрей Валентинович
11.	Судовое машиностроение	Суслов Денис Валерьевич
12.	Судовая арматура	Смаковский Михаил Сергеевич
13.	Акустика в судостроении	Попков Сергей Владимирович
14.	История судостроения	Столяров Сергей Павлович
15.	Экономики и управления	Алехин Михаил Юрьевич
16.	Экология и безопасность в судостроении Подсекция «Охрана труда»	Сергеев Максимилян Сергеевич Суслов Виктор Леонидович
17.	Современные технологии подготовки и переподготовки кадров	Проценко Геннадий Васильевич
18.	Управление судостроительным производством	Богданов Александр Евгеньевич
19.	Нанотехнологии в судостроении	Фармаковский Борис Владимирович
20.	Эргономика и надежность сложных систем	Падерно Павел Иосифович
21.	Поисково-спасательная техника и технологии	Илюхин Виктор Николаевич
22.	Малотоннажное судостроение	Овчинников Кирилл Дмитриевич
23.	Общесистемные вопросы развития радиоэлектронного оборудования судов и радиоэлектронного вооружения	Ханычев Виталий Викторович
24.	Экранопланостроение	Федореев Геннадий Александрович
25.	Подводные технологии и гидронавтика	Гадалин Александр Сергеевич
26.	Технология и производство сварки	Мурзин Виктор Васильевич
27.	Современные технологии выполнения ЭМР. Проектирование электротехнической части кораблей, судов и судового электрооборудования	Душкин Юрий Владимирович
28.	Междисциплинарные технологии судовой энергетики	Мясников Юрий Николаевич
29.	Управление судами и кораблями	Шилов Константин Юрьевич
30.	Обеспечение безопасности судоходства кораблей и судов в штормовых условиях	Шауб Петр Александрович
31.	Цифровые технологии в судостроении	Липис Алексей Викторович



Участники конференции

3. Избраны руководящие органы Общества:

В состав Центрального правления вошли:

1. Александров М. В.
2. Будниченко М. А.
3. Бузаков А. С.
4. Буянов С. И.
5. Вильнит И. В.
6. Вихров Н. М.
7. Дорофеев В. Ю.
8. Илюхин В. Н.
9. Кадилов А. В.
10. Клячко Л. М.
11. Конов Э. А.
12. Коржавин Г. А.
13. Кузнецов Л. Г.
14. Куликов К. Н.
15. Логинов О. Г.
16. Муру Г. Н.
17. Неуступова А. С.
18. Никитин В. С.
19. Орлов И. А.
20. Орыщенко А. С.
21. Пешехонов В. Г.
22. Половинкин В. Н.
23. Пономарев И. Б.
24. Рождественский К. В.
25. Савченко О. В.
26. Смаковский М. С.
27. Середохо В. А.
28. Соколов А. В.
29. Стругов Л. В.
30. Суховинский И. С.
31. Туричин Г. А.
32. Ханычев В. В.
33. Федореев Г. А.
34. Чирков В. В.
35. Чубраева Л. И.
36. Шаталов В. В.
37. Шилов К. Ю.
38. Шляхтенко А. В.

Президиум Центрального Правления избран в следующем составе:

1. Александров М. В.
2. Бузаков А. С.

3. Буянов С. И.
4. Вильнит И. В.
5. Дорофеев В. Ю.
6. Коржавин Г. А.
7. Муру Г. Н.
8. Неуступова А. С.
9. Никитин В. С.
10. Орлов И. А.
11. Орыщенко А. С.
12. Пешехонов В. Г.
13. Половинкин В. Н.
14. Пономарев И. Б.
15. Рождественский К. В.
16. Середохо В. А.
17. Соколов А. В.
18. Стругов Л. В.
19. Суховинский И. С.
20. Туричин Г. А.
21. Шилов К. Ю.
22. Шляхтенко А. В.

Первым вице-президентом НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова избран И. А. Орлов – генеральный директор ПАО «СЗ «Северная верфь».

Единогласно были избраны вице-президенты: Л. В. Стругов, генеральный директор АО «Корпорация морского приборостроения»; В. Ю. Дорофеев, генеральный директор АО «СПМБМ «Малахит»; Г. Н. Муру, генеральный директор АО «51 ЦКТИС»; К. В. Рождественский, директор Департамента международного сотрудничества СПбГМТУ.

Ученым секретарем Общества переизбрана А. С. Неуступова.

Утверждены комитеты:

Инновационный комитет возглавил В. Н. Половинкин, доктор технических наук, профессор, научный руководитель ФГУП «Крыловский ГНЦ».

Комитет по молодежной политике и связям со СМИ возглавила членкорр. РАН, доктор технических наук Л. И. Чубраева,

Комитет по региональной политике возглавил генеральный директор АО «51ЦКТИС» к. т. н. Г. Н. Муру.

Участники конференции определили основные задачи развития Общества на 2022–2027 гг.:

1. Сконцентрировать деятельность Общества на участии в выполнении приоритетных научно-технических и экономических задач развития отрасли в соответствии со «Стратегией развития судостроительной промышленности на период до 2035 года», Государственной программой «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений до 2030 годы», важнейшими документами и решениями по развитию отечественного судостроения.

2. Активизировать работу Общества в решении задач продвижения инновационных проектов и программ, а также критических и прорывных технологий, обеспечивающих развитие отрасли по направлениям основных трендов в мировом судостроении: энергоэффективность и экологичность, применение инновационных материалов и аддитивных технологий, создание морских робототехнических комплексов, интеллектуальных и безэкипажных систем управления объектами морской техники, разработка систем автоматизированного управления этапами жизненного цикла морской техники.

3. Уделить повышенное внимание развитию ряда новых перспективных направлений деятельности НТО, значимых для укрепления обороноспособности страны, в том числе решению вопросов импортозамещения и обеспечение технологического суверенитета.

4. Инновационному комитету сформировать на базе действующих

научно-технических секций групп высокопрофессиональных экспертов по основным специальностям судостроительной отрасли для оценки и продвижения в практику наиболее перспективных проектов. Экспертные группы эффективно использовать для независимой оценки выполняемых предприятиями отрасли НИОКР и разрабатываемой проектной документации, а также таких работ, как:

- системный анализ текущего состояния и прогнозирование приоритетных направлений и перспектив развития отечественного судостроения;
- рассмотрение проектов стратегий, концепций, государственных и отраслевых целевых программ в области судостроения;
- общественное содействие принятию мер государственной поддержки российского судостроения;
- активное сотрудничество с судостроительными корпорациями

в части продвижения инновационных программ и разработок.

5. Образовать новую научно-техническую секцию «Морские робототехнические комплексы».

6. Организовать системную работу по изучению и публикации собранных в НТО архивных уникальных исторических документов о деятельности Общества и выдающихся ученых-кораблестроителей.

7. Продолжить положительную практику выездных заседаний Президиума ЦП, научно-технических секций с проведением конференций, круглых столов и семинаров по обсуждению приоритетных вопросов развития судостроения.

8. Региональную политику НТО считать приоритетным направлением деятельности НТО. Разработать план мероприятий по ее развитию.

9. Продолжить работу с молодыми специалистами и советами молодых специалистов судостроительной отрасли и предприятий смежных от-

раслей, уделяя пристальное внимание формированию и развитию научно-технического потенциала молодых работников предприятий и совершенствованию их профессионального мастерства. Ежегодно проводить отраслевой конкурс «Молодой кораблестроитель – инженер года». Вести системную работу с вузами, уделять значительное внимание активизации участия Общества в подготовке и переподготовке кадров судостроителей. Научно-техническим секциям Общества нацелить свою работу на повышение престижа инженерных специальностей и уровня подготовки специалистов для судостроения.

10. Поручить Президиуму ЦП НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова рассмотреть предложения, поступившие от руководителей регионов и делегатов конференции. На заседании Президиума в декабре 2022 г. принять решения о включении их в Тематический план работы на 2023 г. ■

9 ноября 2022 г. в ЦТСС состоялось очередное заседание Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Открыл его директор научно-технической фирмы «Судотехнология» В. К. Ханухов.



В.К. Ханухов

В своем докладе «Роль и место АО «ЦТСС» в обеспечении строительства флота на верфях России» он отметил, что в условиях санкционной политики и прогнозируемого роста грузопотоков через морские и речные порты России до 2035 г. перед судостроителями стоит задача построить около 1500 морских транспортных судов. В этой связи в задачи АО «ЦТСС» входит следующее:

– Разработка принципиальной (проектной) технологии постройки судов всех типов, кораблей и морской техники, технологических и органи-

зационно-технологических проектов модернизации (технического перевооружения и реконструкции) существующих и создания новых производств судостроительных и судоремонтных предприятий.

- Моделирование и расчеты ожидаемых сварочных деформаций корпусных конструкций, разработка технологических мероприятий по снижению и компенсации сварочных деформаций.
- Разработка технологий лазерной резки, сварки, наплавки, выращивания при изготовлении и ремонте металлических корпусных конструкций, изделий машиностроения и др.
- Разработка технологий дуговых способов сварки и родственных

процессов, в том числе роботизированных, для изготовления металлоконструкций судов всех типов.

- Расчет и оценка воздушного шума и вибрации корпусных конструкций на стадии проектирования, разработка рекомендаций по их снижению. Разработка конструктивно-технологических решений по комплексной защите от шума и вибрации, а также технологии нанесения и монтажа средств защиты от шума и вибрации.
- Разработка технологий модульно-агрегатного метода монтажа главных и вспомогательных энергетических установок всех типов.
- Разработка технологий монтажа движительных комплексов и рас-

ИТОГИ СОВМЕСТНОГО СОБРАНИЯ АССОЦИАЦИИ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И СЕКЦИИ ПО СУДОСТРОЕНИЮ МОРСКОГО СОВЕТА ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Ассоциация судостроителей Санкт-Петербурга
и Ленинградской области,
контакт. тел. (812) 786 1172*



М.В. Александров и Л.Г. Грабовец

четы технологических параметров центровки валопроводов.

Большой интерес у присутствующих вызвал новый закон об обязательном проведении экспертизы ориентировочной стоимости строительства судна, определяемой проектантом в техническом проекте, и цен проектирования, строительства, ремонта и утилизации судов. Такие экспертизы обеспечат, с одной стороны, эффективность использования бюджетных средств, направляемых в судостроение, а с другой – рентабельность контрактов, реализуемых предприятиями судостроительной промышленности. Иными словами, закон будет содействовать балансу интересов заказчика и головного исполнителя контракта.

В соответствии с законом порядок проведения экспертиз будет устанавливать Правительство РФ. При этом законом предоставляются широкие полномочия Минпромторгу России, в том числе по установлению порядка определения ориентировочной стоимости строительства судна и утверждению формы заключения экспертизы, по ее обоснования, установлению порядка определения трудоемкости строительства судна и по утверждению нормативов трудоемкости, а также методических документов в области ценообразования и определения трудоемкости в судостроении.

В связи с актуальностью данного вопроса было принято решение поручить исполнительному директору Ассоциации судостроителей В.В. Горелову подготовить и организовать очередное заседание в феврале 2023 г. с участием представителей ОНТЦ «Румб» для разъяснения определения ценообразования на строящиеся и проектируемые корабли и суда в связи с принятием 7 октября 2022 г. ФЗ № 390 «О внесении изменений в ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации», который устанавливает новый порядок проведения экспертиз обоснований ориентировочной стоимости строительства судов и цен проектирования, строительства, ремонта и утилизации судов.

Доклад председателя территориальной организации общероссийского профсоюза работников судостроения, судоремонта и морской техники С.П. Максименко был посвящен результатам подписания Регионального отраслевого соглашения на 2022–2025 гг. между Ассоциацией судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Межрегионального профсоюза работников судостроения, судоремонта и морской техники, Российского профсоюза работников судостроения Санкт-Петербурга и Ленинградской области и Комитетом по труду и занятости населения Санкт-Петербурга.

По итогам доклада было принято решение поручить С.П. Максименко разослать данный договор на предприятия – участникам соглашения для их дальнейшего ознакомления и подписания.

С он-лайн докладом «О мерах государственной поддержки проектов импортозамещения судостроительных предприятий в условиях санкционного давления» выступил заместитель генерального директора АО «ЦНИИ «Курс» Д.О. Стоянов.

В нем автор изложил основные меры поддержки, предусмотренные Правительством РФ, проинформировал о создании и работе единой электронной централизованной системы судового комплектующего оборудования. Был также затронут и ряд других актуальных вопросов импортозамещения, инжиниринга и логистики применительно к судостроительной отрасли в современных условиях.

С учетом высокой значимости данной проблемы участники заседания Ассоциации приняли решение рекомендовать Комитету по промышленной политике, инновациям и торговле Санкт-Петербурга подготовить предложения о возможных мерах поддержки предприятий города, осуществляющих развитие импортозамещающих производств в интересах судостроительной промышленности, а также рекомендовать ему, а также Комитету по экономической политике и стратегическому планированию, Комитету по инвестициям Санкт-Петербурга подготовить предложения о мерах обеспечения устойчивого финансового состояния предприятий в условиях расширения санкционного давления. Кроме того, предприятиям Санкт-Петербурга было рекомендовано принять участие в программах государственной поддержки разработки, создания и внедрения в серийное производство судового комплектующего оборудования в целях реализации планов импортозамещения. ■

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 (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 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 629.5 **Ключевые слова:** ледокольный флот, Береговая охрана, военно-морские силы, приарктические государства, Арктический регион, геополитика

А.В. Архипов, Д.В. Курочкин, Г.В. Дикарев, П.А. Лукашевич. Обзор состояния ледокольных флотов Береговой охраны и ВМС приарктических государств. Часть 1//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 7

Дан обзор текущего состояния и перспектив развития ледокольного флота Береговой охраны и военно-морских сил приарктических государств – США, Канады, Дании, Норвегии и России. Представлены краткие тактико-технические характеристики ледоколов и взгляды на их использование в Арктике. Т. 3. Ил. 13.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** надводный корабль, эскадренный миноносец, проектирование

О.В. Третьяков, Д.Ю. Литинский. Развитие эскадренных миноносцев Военно-морских сил Народно-освободительной армии Китая. Часть 2//Морской вестник. 2022. № 3 (83). С. 16

Рассмотрена эволюция одного из подклассов кораблей охранения ВМС НОАК – эскадренных миноносцев 2-го – 4-го поколений пр. 052 и пр. 055, спроектированных без использования технической помощи Советского Союза. Определены основные факторы, влиявшие на формирование концепции кораблей и стратегию разработок вооружения и технических средств, а также значение их закупок за рубежом на политику локализации и импортозамещения. Проанализирована рациональность основных проектных решений, целесообразность применения концепции «базовой платформы» с поэтапным внедрением новых систем вооружения, рассмотрен состав вооружения корабля пр. 055, дана оценка достоверности информации о его тактико-технических элементах. Ил. 11. Библиогр. 10 назв.

УДК 658.512.2.07 **Ключевые слова:** проектирование судов, электронная информационная логистика, принципы электронной информационной логистики, электронное информационное сообщение, электронные информационные потоки, маршрутизация информационных потоков

Ю.В. Дорогов, Б.П. Ионов. Основные понятия и принципы функционирования системы электронной информационной логистики конструкторского бюро судостроения//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 25

Посвящена проблемам оптимизации производственных процессов проектирования судов. Предназначена для специалистов проектно-конструкторских бюро судостроения и других проектных организаций, продукцией которых является конструкторская документация, а также для студентов высших учебных заведений. Т. 3. Ил. 1. Библиогр. 14 назв.

УДК 629.05.081 **Ключевые слова:** размерный контроль, чистый размер, судометрика, электронная геометрическая модель

К.О. Будников. Обзор технологии изготовления и сборки корпусных конструкций в мире//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 31

Проанализировано применение ключевых технологий, используемых в мире: усовершенствованный метод проектирования и технологии точных измерений. Принимая во внимание передовую технологию высокоточной сборки крупных насыщенных конструкций, предлагается структура изготовления блока корпуса на основе цифровых технологий. Ил. 2. Библиогр. 13 назв.

УДК 623.83 **Ключевые слова:** якорная цепь, судоремонт, испытания, термообработка, освидетельствование

А.С. Мешков. Термическая обработка при освидетельствовании и ремонте якорных цепей кораблей и судов: проблемы и пути решения//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 34

В практике судоремонтных заводов возникают случаи снижения прочностных характеристик якорных цепей после проведения термообработки, обязательной согласно тре-

бованиям руководящих документов ВМФ. Цель настоящей статьи – установление обоснованности требования об обязательной термообработке якорных цепей и выработка предложений по сокращению затрат на их ремонт при безусловном обеспечении проектной прочности и надежности с целью освобождения предприятий от необходимости выполнения этой дорогостоящей операции при каждом освидетельствовании и ремонте. Обобщен опыт судоремонтных предприятий, проанализированы требования действующих руководящих и нормативных документов разных ведомств и даны предложения по их уточнению. Библиогр. 9 назв.

УДК 004.384, 004.523 **Ключевые слова:** измерение уровня шумов, бортовой вычислитель, распределенная система управления, встраиваемое программное обеспечение

А.Е. Васильев, А.В. Вегнер, Д.Е. Голубева, А.С. Доценко, В.А. Карпенко. Инженерно-технологические аспекты разработки систем оценки уровня акустического фона в судовых помещениях//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 37

Рассмотрены принципы построения универсальных аппаратно-программных технических решений с распределенной архитектурой, выполненных на основе бортовых процессоров и микроконтроллеров и обеспечивающих регистрацию и адаптивную оценку уровня акустических сигналов для заданной совокупности судовых помещений. Приведен пример практической реализации элементов системы. Ил. 3. Библиогр. 10 назв.

УДК 593.3 **Ключевые слова:** иллюминатор, стеклоэлемент, обоймы, обжимная шайба, вспомогательный конический элемент

В.П. Лянзберг, Н.М. Вихров. Иллюминаторы высокого давления – учет взаимного смещения элементов в конструкции. Часть 2//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 41

Изложены результаты проведенных экспериментальных исследований, которые подтвердили, что точное определение геометрических параметров обоймы и вспомогательного конического элемента совместно создают необходимое напряженное состояние стеклоэлемента и существенно увеличивают рабочее давление и надежность иллюминаторов. Рис. 7.

УДК 355.40 (091) **Ключевые слова:** синтез, сложная система, декомпозиция, логистика, ресурсы, инновационные решения, автоматизированная система, штабные игры

М.Н. Григорьев, А.В. Лосик, С.А. Узаров, А.И. Фрумен. Анализ технических решений синтеза и восстановления сложных военно-морских систем с использованием возможностей декомпозиции//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 45

Восстановление сложных военно-морских систем, а тем более придания им дополнительных возможностей в условиях дефицита ресурсов и необходимого для этого времени – актуальная задача как для нашей страны, так и для зарубежных государств. В России за более чем 100 лет накоплен большой опыт решения таких задач при жестких ограничениях располагаемых возможностей. Ретроспективный системный анализ накопленной отечественной практики показывает, что цели восстановления и синтеза сложных военно-морских систем достигались посредством эвристических инновационных решений, осуществляемых неравнодушными, предприимчивыми людьми, готовыми в силу их нравственных качеств рисковать многим. Предложены процедуры и технологии такого восстановления и синтеза обрабатывать еще на стадии проектирования сложных систем, для этого необходимо создать в масштабе государства автоматизированную систему учета движения имеющихся ресурсов, позволяющую с использованием возможностей искусственного интеллекта изыскивать оптимальные схемы их декомпозиции и займа. Ил. 3. Библиогр. 14 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** перспективные боевые надводные корабли, электродвижение, объединенная электроэнергетическая система, корабельные энергетические установки, компоновочная схема, схемное решение, CODIAG, CODLOG, CODELOG, CODELAG, пол-

ное электродвижение, полностью электрический корабль

В.В. Барановский, П.Г. Печковский, А.В. Довличарова. Новые подходы к использованию системы электродвижения на перспективных боевых надводных кораблях. Часть 1//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 49

Выполнен подробный анализ направлений развития и совершенствования энергетических установок (ЭУ) перспективных боевых надводных кораблей с использованием систем электродвижения. Проанализированы технические решения по развитию корабельных ЭУ военно-морских флотов ведущих морских держав и РФ. Предложены инновационные технические решения по формированию схемного исполнения ЭУ. Т. 1. Ил. 9.

УДК 621.039.52.034.6 **Ключевые слова:** ядерная энергетическая установка (ЯЭУ), жидкометаллический теплоноситель (ЖМТ), математическое моделирование

А.А. Горбачев, А.А. Иванов. Анализ применения комплексной математической модели при проектировании ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 55

В настоящее время в мире наблюдается растущий интерес к ядерным энергетическим установкам с жидкометаллическим теплоносителем (ЯЭУ с ЖМТ). Следует отметить, что реактор на быстрых нейтронах со свинцово-висмутным теплоносителем (СВТ) признан одной из шести перспективных реакторных технологий, предлагаемых в рамках международного проекта «Generation-IV International Forum» в качестве основы ядерной энергетики будущего. В нашей стране после вывода из эксплуатации последней АПЛ пр. 705 К в 1997 г. не осталось действующих ЯЭУ с СВТ. Разрабатывавшиеся в конце 80-х гг. прошлого века проекты ЯЭУ с ЖМТ на практике реализованы не были. Сегодня в России вновь активно ведутся работы по реализации проектов ЯЭУ с данным типом теплоносителя. При эксплуатации АПЛ первых поколений важной практической проблемой было обоснование возможности многократного «замораживания-размораживания» СВТ, что могло потребоваться при длительных выездах АПЛ из эксплуатации. На первых этапах освоения паропроизводящих установок (ППУ) с ЖМТ была применена паровая система обогрева РУ, что в итоге привело к существенным сложностям при монтаже и эксплуатации установок, снижало ее надежность и делало практически невозможным ввод в действие ЯЭУ после затвердевания теплоносителя в трубопроводах. Оптимальным решением вопросов создания и отработки алгоритмов разогрева и охлаждения СВТ с учетом особенностей гидродинамики и теплообмена в ЖМТ должно способствовать создание комплексных математических моделей, которые позволили бы исследовать работу ЯЭУ с ЖМТ в различных динамических режимах, особенно на режимах пуска и расхолаживания, учитывая изменение агрегатного состояния СВТ. Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 6231.31 **Ключевые слова:** буксирная лебедка, динамические нагрузки, математическая модель, стержень, поперечные колебания

А.В. Ивановская. Исследование поперечных колебаний элементов буксирной лебедки//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 58

Представлен метод определения динамических нагрузок на туртку буксирной лебедки, отличный от общепринятых. Приводы подобных устройств работают в особых условиях: нескольких средах, под влиянием гидрометеорологических факторов, при высокой вибрации, переменности нагружения и т.д. Для построения математической модели туртки представлена в виде стержня переменного сечения. В результате получена модель поперечных колебаний такого стержня, а также аналитические зависимости для определения собственных частот низших форм колебаний, которые необходимы и являются основой для оценки параметров работы устройств данного типа. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 614.843 **Ключевые слова:** судовая система пожарной сигнализации, импортозамещение, противопожарная защита

Н.С. Давыдов, Ю.В. Беляев, В.Н. Грачев. Решение задачи импортозамещения на рынке систем судовой пожарной сигнализации//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 61

Рассмотрен пример замены зарубежной системы судовой пожарной сигнализации на объекте морской техники на отечественную серийную систему «Касатка», выпускаемую АО «НПО «Меридиан». Ил. 4.

УДК 620.691 **Ключевые слова:** живучесть, противопожарная безопасность, теплоизоляционные материалы, коэффициент тепловой изоляции, теплопроводность, теплопередача, перспективные надводные корабли ВМФ, сложные технические системы

П.А. Зубков, К.А. Ефремов. Инновационные технические разработки в области негорючих материалов и изоляционных покрытий и их влияние на живучесть перспективных надводных кораблей//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 65

Раскрыта важная и актуальная для ВМФ тема, в которой делается акцент на вопросы инновационных разработок в области негорючих теплоизоляционных материалов и изоляционных покрытий. Приведен расчетно-аналитический материал, с использованием которого можно оценить степень изменения противопожарной безопасности при использовании инновационных специальных теплоизоляционных материалов на поверхности корабельных конструкций. Ил.5. Библиогр. 14 назв.

УДК 621.355. **Ключевые слова:** литий-ионный аккумулятор, аккумулятор из алюминия, серы и соли, подводный аппарат, подводное применение, надводное применение, беспилотное судно

В.Г. Данилова. Алюминиево-серные аккумуляторы с соевым электролитом для применения в морской технике//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 69

О новой аккумуляторной батарее из алюминия, соли и серы для подводного и надводного применения. По материалам статьи профессора Массачусетского технологического института Дональда Садовая, опубликованной в журнале «Nature» 24.08.2022 г. Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

УДК 623.827 **Ключевые слова:** цифровой двойник, морской подводный объект (МПО), абсорбер, топливный элемент, морская вода, газовый пузырек, скорость всплытия, растворение, углекислый газ, диаметр пузырька, массовое газосодержание, объемное газосодержание, коэффициент диффузии, коэффициент массоотдачи, коэффициент массопередачи, степень извлечения

А.Н. Дядик, Н.П. Малых, К.В. Долгий. Разработка цифрового двойника абсорбера в системе очистки конверсионного газа//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 72

Рассмотрено построение цифрового двойника абсорбера, являющегося второй ступенью очистки конверсионного газа от примеси углекислого газа, который создается с целью точного отображения реального состояния двухфазной смеси в объеме абсорбера. При этом показана необходимость такой очистки по причине возможной карбонизации топливных элементов, являющихся источниками электрической энергии в электрохимических генераторах морских подводных объектов. Кратко рассмотрен характер течения двухфазной смеси в объеме абсорбера, состоящей из несущей фазы – воды и газовых пузырьков. На основе законов сохранения и превращения энергии создан алгоритм расчета для последующего использования в программном комплексе цифрового двойника. Выполнены статические расчеты по данной программе, результаты которых показали существенную зависимость растворимости углекислого газа от расхода заборной воды. Приведены табличные и графические материалы в относительных единицах расхода воды. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 7 назв.

УДК 629.12.014 **Ключевые слова:** машина рулевого корабля, судно, заказ, момент, серийность, военно-морской флот, Регистр, норматив, водоизмещение, стандарт

Ю.В. Копытов. Анализ истории использования рулевых машин на кораблях и судах//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 77

Дано краткое описание применения рулевых машин различных типов на судах и кораблях практически всех проектов, построенных в СССР и РФ. Т. 1. Ил. 3.

УДК 628.517+621.646+678.4 **Ключевые слова:** регулируемое дроссельное устройство, дроссельная шайба, трубопровод, вибрация

М.В. Кушлин. Исследование виброакустических характеристик макета регулируемого дроссельного устройства на основе непроницаемой эластичной мембраны//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 79

Приведены результаты экспериментальных исследований макета регулируемого дроссельного устройства на ос-

нове непроницаемой эластичной мембраны как средства снижения гидродинамического шума и вибрации в трубопроводных системах. Рассмотрен принцип работы таких устройств, сформулированы преимущества их использования. Ил. 4. Библиогр. 2 назв.

УДК 621.3 **Ключевые слова:** система электропитания, отказ, сбой, канал передачи информации, нечеткое множество, нечеткая логика, функция принадлежности

В.А. Смирнов, Ю.Ф. Подоплёкин, А.Н. Рудаков. Нечеткая модель оценки состояния подсистемы передачи информации системы электропитания ответственных объектов//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 85

Рассмотрена одна из важных составляющих решения проблемы обеспечения высокого уровня отказоустойчивости и безопасности системы электропитания ответственных объектов и предотвращения аварийных ситуаций и техногенных катастроф. Предложен подход к оценке состояния подсистемы передачи информации, характеризующейся значительной неопределенностью и неполнотой для ее моделирования традиционными методами. На основе технологий нечетких множеств и нечеткой логики разработана модель, основанная на применении предложенных четырех частных критериев и комплексного критерия оценки уровня работоспособности подсистемы передачи информации, позволяющая количественные оценки дополнить их интерпретацией в виде качественных оценок. Полученные оценки позволяют своевременно оказать оператору информационную поддержку и повысить оперативность принятия предупреждающих управляющих решений. Представленные теоретические результаты могут быть использованы при разработке систем электропитания, функционирующих в условиях жестких временных ограничений, в атомной, космической, химической и военной промышленности, медицине и на транспорте. Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 681.51 **Ключевые слова:** корабельные системы управления техническими средствами, сетевые технологии, цифровые системы управления, клиент-серверная архитектура

Б.В. Грек, С.Н. Сури. Опыт разработки корабельных систем управления техническими средствами клиент-серверной архитектуры//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 89

Корабельные системы управления техническими средствами клиент-серверной архитектуры являются результатом применения современных сетевых технологий техническими средствами на основе цифровых вычислительных средств, обеспечивающих взаимодействие с объектами управления и контроля. Ил. 6. Библиогр. 3 назв.

УДК 656.61:004.896 **Ключевые слова:** искусственный интеллект, морская отрасль, судовождение, классификация, степень доверия, показатель эффективности, методика оценки, стохастическое имитационное моделирование

А.Г. Родионов, В.В. Ефимов, Ю.Г. Тварин. Искусственный интеллект в судовождении – игра в имитацию? (По материалам зарубежных и открытых источников) //Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 95

Рассмотрены различные определения системы искусственного интеллекта (ИИ), стандартная классификация систем на базе ИИ. Показано увеличение инвестиций и рост областей применения ИИ в мировой экономике. Предложены направления применения ИИ в судовождении и обосновано решение, направленное на достижение доверия его системам. Предложено для оценки эффективности ИИ в судовождении использовать системы, реализующие стохастическое имитационное моделирование. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 33 назв.

УДК 004.032.26 **Ключевые слова:** нейросети, системы информационной поддержки, искусственный интеллект

А.Я. Лапидус, А.А. Кутенев, А.Ю. Петров. Структуризация процесса анализа оперативной информации оператором систем управления как основа для построения топологии интеллектуальных систем поддержки принятия решения//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 103

Функционирование интеллектуальных систем поддержки принятия решения (ИСПР) в реальном времени обеспечивается при непрерывном изменении параметров динамического объекта (ДО) и внешней среды. Реализация эффективных алгоритмов анализа и интерпретации данных в бортовых ИСПР, представляющих собой сложный интегрированный интеллектуальный комплекс, – актуальная задача использования новых идей и методов, требующих больших вычислительных ресурсов в условиях жестких временных ограничениях. Один из возможных путей решения этой проблемы – построение системы на основе алгоритмов и механизмов восприятия и действий оператора, воздействующих на формирование оперативного образа. Ил. 3. Библиогр. 11 назв.

УДК 004.7

Ключевые слова: дрон, безопасность, моделирование, морская среда, полигон, виртуальная реальность

А.А. Жиленьков, С.Г. Черный. Моделирование и применение киберфизического полигона для испытаний программно-аппаратных систем морского назначения//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 106

Основной концепцией описываемого комплекса виртуальных и гибридных полигонов является погружение системы управления робототехнического комплекса (РТК), т.е. физического объекта, в виртуальное окружение и обеспечение взаимодействия РТК с данным окружением. Приведенные примеры для объектов морской робототехники подчеркивают важность построения подобных систем, поскольку разработка и отладка как программной, так и аппаратной частей системы управления и тем более испытания объекта управления в реальном окружении требует высоких затрат и сопряжено с высокой вероятностью повреждения объекта или полной его потери. Разрабатываемый на кафедре киберфизических систем СПбГМУ комплекс виртуальных и гибридных полигонов базируется на передовых технологиях моделирования, высокопроизводительных вычислений, искусственного интеллекта и машинного обучения и позволяет в режиме реального времени моделировать и визуализировать виртуальное окружение объекта управления, получать реакцию объекта на процессы, протекающие в виртуальном окружении, и наоборот. Ил. 7. Библиогр. 4 назв.

УДК 3179 **Ключевые слова:** 4D сейсмониторинг месторождений, морская сейсмическая съемка, гидродинамический анализ, прочностной расчет

К.А. Смирнов, Н.Н. Пасевич, П.К. Смирнов. Усовершенствование технологий в разведке морских месторождений//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 111

Рассмотрены вопросы усовершенствования технологий проведения морских геофизических исследований. Предложены соответствующие решения. По результатам инженерного анализа выявлена оптимальная форма конструкции поддувающего крыла паравана. Ил. 6. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.51 **Ключевые слова:** АО «Электрорадиоавтоматика», история, судовое электромагнитное производство, электромагнитные работы

Е.А. Губарев. Из истории Санкт-Петербургского предприятия АО «Электрорадиоавтоматика»//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 114

История создания и развития Санкт-Петербургского предприятия «Электрорадиоавтоматика» от момента организации в 1901 г. русской «Всеобщей компании электричества», затем «Электротреста», «Эльмаштреста» и до появления в 1924 г. Ленинградского военно-морского строительного бюро государственного электротехнического треста ВСНХ СССР – предшественника нынешнего АО «ЭРА». Ил. 3.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** Ладожское озеро, блокадный Ленинград, Ладожская военная флотилия, озерные перевозки, караваны, буксиры, баржи

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, В.В. Соколов. Снабжение Ленинграда по Ладожскому озеру в условиях блокады (8 сентября – 1 декабря 1941 г.)//Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 118

В сентябре 1941 г. началась блокада Ленинграда. Единственным путем снабжения блокадного города оставалось Ладожское озеро. Показано, каким образом флот осуществлял эвакуацию и снабжение Ленинграда в навигацию с сентября по 1 декабря 1941 г. Ил. 4. Библиогр. 24 назв.

УДК: 930.85 **Ключевые слова:** Петр Великий, история ВМФ России, Александр Невский, ботик Петра, Гавриил Бужинский, Феофан Прокопович

Р.А. Соколов. Участие военно-морского флота в перенесении мощей Александра Невского в Санкт-Петербург в 1724 г. //Морской вестник. 2022. № 4 (84). С. 121

Церемония заключительной части перенесения мощей Александра Невского из Владимира в Санкт-Петербург (30 августа 1724 г.) имела ряд нюансов, теснейшим образом связанных с военно-морским флотом. Ковчег с останками святого перевозили от Шлиссельбурга на галере, которая входила в состав военных кораблей. Вскоре после того, как мощи оказались в расположенном на берегу Невы монастыре, государь поручил архимандриту Гавриилу (Бужинскому), обер-иеромонаху флота, составить новую службу святому. Ранее он в своих проповедях подчеркивал особое значение его создания и важность морских побед Петра. В тексте вновь составленной службы уделялось особое место благодарности помощи святого в этих «викториях». Все это позволяет предположить, что, по мысли государя, Александру Невскому предполагалось придать статус второго после Андрея Первозванного покровителя русского военно-морского флота. Выполнить задуманное помешала кончина императора. Ил. 3. Библиогр. 12 назв.

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 629.5 **Keywords:** icebreaking fleet, Coast Guard, naval forces, Arctic states, Arctic region, geopolitics

A.V. Arkhipov, D.V. Kurochkin, G.V. Dikarev, P.A. Lukashevich. Review of the state of the icebreaker fleets of the coast guard and the Navy of the Arctic states. Part 1//Morskoy Vestnik. 2022. No. 4 (84). P. 7

The material provides an overview of the current state and prospects for the development of the icebreaker fleet of the Coast Guard and the Naval Forces of the Arctic states – the USA, Canada, Denmark, Norway and Russia. Brief performance characteristics of icebreakers and views on their use in the Arctic are presented. T. 3. Fig. 13. Bibliography 32 titles.

UDC 623.8 **Keywords:** surface ship, destroyer, design, Navy of the People's Liberation Army

O.V. Tretyakov, D.Yu. Litinsky. The development of destroyers of the Navy of the People's Liberation Army of China. Part 2//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 12

The evolution of one of the subclasses of the PLA Navy escort ships – destroyers of the 2nd – 4th generation – pr. 052 and pr. 055, designed without the use of technical assistance from the Soviet Union, is considered. The main factors that influenced the formation of the concept of ships and the strategy for the development of weapons, weapons and technical means, as well as the importance of their purchases abroad and the policy of localization and import substitution are determined. The rationality of the main design decisions, the feasibility of using the concept of the «base platform» with the phased introduction of new weapons systems are analyzed, the composition of the armament of the ship pr. 055 is considered, and the reliability of information about its tactical and technical elements is assessed. Fig. 11. Bibliography 10 titles.

UDC 658.512.2.07 **Keywords:** ship design, shipbuilding design bureau, electronic information logistics, principles of electronic information logistics, electronic information message, electronic information flows, information flow routing

Yu.V. Dorogov, B.P. Ionov. Basic concepts and principles of functioning of the system of electronic information logistics of the design bureau of shipbuilding//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 25

Dedicated to the problems of optimizing the production processes of ship design. It is intended for specialists of shipbuilding design bureaus and other design organizations whose products are design documentation, as well as for students of higher educational institutions. T. 3. Fig. 1. Bibliography 14 titles.

UDC 629.05.081 **Keywords:** dimensional control, net size, nautometrics, electronic geometric model

K.O. Budnikov. Overview of the technology of manufacturing and assembling hull structures in the world//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 31

The application of key technologies used in the world is analyzed: an improved design method and accurate measurement technologies. Taking into account the advanced technology of high-precision assembly of large saturated structures, a structure for the manufacture of a body block based on digital technology is proposed. Fig. 2. Bibliography 13 titles.

UDC 623.83 **Keywords:** anchor chain, ship repair, testing, heat treatment, survey

A.S. Meshkov. Heat treatment during the survey and repair of anchor chains of ships and vessels: problems and solutions//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 34

In the practice of shipyards, there are cases of a decrease in the strength characteristics of anchor chains after heat treatment, which is mandatory in accordance with the requirements of the Navy's guidelines. The purpose of this article is to establish the validity of the requirement for mandatory heat treatment of anchor chains and develop proposals for reducing the cost of their repair while unconditionally ensuring design strength and reliability in order to relieve enterprises from the need to perform this expensive operation during each survey and repair. The experience of ship repair enterprises is summarized, the requirements of the current governing and regulatory documents of various departments are analyzed and proposals are made for their clarification. Bibliography 9 titles

UDC 004.384, 004.523 **Keywords:** noise level detection, onboard microcontroller, distributed control system, embedded software

A.E. Vasil'ev, A.V. Wegner, D.E. Golubeva, A.S. Dotsenko, V.A. Karpenko. Noise level evaluation systems for the ship's spaces: engineering and technological development aspects//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 37

The principles of network-organized microcontroller-based solutions for registration and adaptive noise level evaluation at ship's spaces are discussed. An example of the practical implementation is given. Fig. 3. Bibliography 10 titles.

UDC 593.3 **Keywords:** porthole, glass element, clips, crimp washer, auxiliary conical element

V.P. Lyanzberg, N.M. Vikhrov. High pressure portholes – taking into account the mutual displacement of elements in the structure. Part 2//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 41

The results of experimental studies are presented, which confirmed that the precise determination of the geometrical parameters of the holder and the auxiliary conical element jointly create the necessary stress state of the glass element and significantly increase the working pressure and reliability of the windows. Fig. 7. Bibliography 38 titles.

UDC 355.40 (091) **Keywords:** synthesis, complex system, decomposition, logistics, resources, innovative solutions, automated system, staff games

M.N. Grigor'ev, A.V. Losik, S.A. Uvarov, A.I. Frumen. Analysis of technical solutions for the synthesis and restoration of complex naval systems using decomposition capabilities//Morskoy Vestnik. 2022. № 4 (84). P. 45

Restoring complex naval systems, and even more so giving them additional capabilities in the face of a shortage of resources and the time required for this, has been and is an urgent task both for our country and for foreign states. For more than 100 years, Russia has accumulated extensive experience in solving such problems with severe limitations of available opportunities. A retrospective systematic analysis of the accumulated domestic practice shows that the goals of restoring and synthesizing complex naval systems were achieved through heuristic innovative solutions carried out by caring, enterprising people who, due to their moral qualities, are ready to risk a lot. Procedures and technologies for such restoration and synthesis are proposed to be worked out even at the stage of designing complex systems; for this, it is necessary to create an automated system for accounting for the movement of resources available to the state, which allows, using the capabilities of artificial intelligence, to find optimal schemes for decomposition and borrowing resources. Fig. 3. Bibliography 14 titles.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** advanced combat surface ships, electric propulsion, integrated electric power system, ship power plants, layout diagram, circuit design, CODIAG, CODLOG, CODELOG, CODELAG, full electric propulsion, fully electric ship

V.V. Baranovsky, P.G. Pechkovsky, A.V. Dovlicharova. New approaches to the use of the electric propulsion system on advanced combat surface ships. Part 1//Morskoy Vestnik. 2022. № 4 (84). P. 49

A detailed analysis of the directions of development and improvement of power plants (PP) of advanced combat surface ships using electric propulsion systems has been carried out. Technical solutions for the development of ship power plants of the navies of the leading maritime powers and the Russian Federation are analyzed. Innovative technical solutions for the formation of the circuit design of the ED are proposed. T. 1. Fig. 9. Bibliography 10 titles.

UDC 621.039.52.034.6 **Keywords:** nuclear power plant (NPP), liquid metal coolant (LMC), mathematical modeling

A.A. Gorbachev, A.A. Ivanov. Analysis of the application of a complex mathematical model in the design of nuclear power plants with a liquid metal coolant//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 55

Currently, there is a growing interest in the world in nuclear power plants with a liquid metal coolant (NPP with LMC). It should be noted that the lead-bismuth-cooled fast neutron reactor (CBT) is recognized as one of the six promising reactor technologies proposed in the framework of the Generation-IV International Forum as the basis for the nuclear energy of the future. In our country, after the decommissioning of the last nuclear submarine pr. 705K in 1997, there were no operating nuclear power plants with SVT. Developed in the late 80s. of the last century, NPP projects with LMC were not implemented in practice. To date, Russia is again actively working on the implementation of nuclear power plants with this type of coolant. During the operation of nuclear submarines of the first generations, an important practical problem was to substantiate the possibility of multiple «freezing-thawing» of the SVT, which could be required during long-term decommissioning of nuclear submarines. At the first stages of the development of steam generating plants (SPU) with LMC, a steam heating system of the reactor plant was used, which ultimately led to significant difficulties in the installation and operation of the plant, reduced its reliability and made it almost impossible to put the nuclear power plant into operation after the coolant had solidified in the pipelines. The optimal solution to the issues of creating and developing algorithms for heating and cooling the SHT, taking into account the features of hydrodynamics and heat transfer in the LMC, should be facilitated by the creation of complex mathematical models that would allow us to study the operation of a nuclear power plant with a LMC in various dynamic modes, especially in start-up and cooldown modes, taking into account changes in the state of aggregation SVT. Fig. 2. Bibliography 5 titles.

UDC 6231.31 **Keywords:** towing winch, dynamic loads, mathematical model, rod, transverse vibrations

A.V. Ivanovskaya. The study of transverse vibrations of the elements of the towing winch//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 58

A method for determining dynamic loads on the towing winch crank, which is different from conventional methods, is presented. The drives of such devices operate in special conditions: several environments, under the influence of hydrometeorological factors, high vibration, load variability, etc. To build a mathematical model, the crank is presented in the form of a rod of variable cross section. As a result, a model of transverse vibrations of such a rod was obtained, as well as analytical dependencies for determining the natural frequencies of the lowest vibration modes, which are necessary and are the basis for estimating the operating parameters of devices of this type. Fig. 2. Bibliography 4 titles.

UDC 614.843 **Keywords:** ship fire alarm system, import substitution, fire protection

N.S. Davydov, Yu.V. Belyaev, V.N. Grachev. Solving the problem of import substitution in the market of ship fire alarm systems//Marine vestnik. 2022. № 4 (84). P. 61

An example of replacing a foreign shipboard fire alarm system at a marine facility with a domestic «Kasatka» serial system manufactured by «SPF «Meridian» JSC is considered. Fig. 4.

UDC 620.691 **Keywords:** Survivability, fire safety, thermal insulation materials, thermal insulation coefficient, thermal conductivity, heat transfer, promising surface ships of the Navy, complex technical systems.

P.A. Zubkov, K.A. Efremov. Innovative technical developments in the field of non-combustible materials and insulating coatings and their impact on the survivability of promising surface ships//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 65

This article reveals an important and relevant topic for the Navy, which focuses on the issues of innovative developments in the field of non-combustible heat-insulating materials and insulating coatings. The article provides a calculation and analytical material, using which it is possible to assess the degree of change in fire safety when using innovative special heat-insulating materials on the surface of ship structures. Fig. 5. Bibliography 14 titles.

UDC 621.355.9 **Keywords:** lithium-ion battery, battery made of aluminum, sulfur and salt, underwater vehicle, underwater application, surface application, unmanned vessel

V.G. Danilova. Aluminum-sulfur batteries with saline electrolyte for use in marine technology//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 69

About a new battery made of aluminum, salt and sulfur for underwater and surface applications. Based on an article by MIT professor Donald Sadoway, published in the journal «Nature» on August 24, 2022. Fig. 2. Bibliography 5 titles.

UDC 623.827 **Keywords:** digital twin, marine underwater object (MUO), absorber, fuel cell, seawater, gas bubble, ascent rate, dissolution, carbon dioxide, bubble diameter, mass gas content, volumetric gas content, diffusion coefficient, mass transfer coefficient, mass transfer coefficient, degree of extraction

A.N. Dyadik, N.P. Malykh, K.V. Dolguy. Development of a digital double of an absorber in a conversion gas purification system//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 72

The construction of a digital double of the absorber, which is the second stage of purification of the conversion gas from the admixture of carbon dioxide, is considered. The digital double of the absorber is created in order to accurately display the real state of the two-phase mixture in the volume of the absorber. At the same time, the necessity of such purification is shown due to the possible carbonation of fuel cells that are sources of electrical energy in electrochemical generators of marine underwater objects. The nature of the flow of a two-phase mixture in the volume of an absorber consisting of a carrier phase – water and gas bubbles is briefly considered. Based on the laws of conservation and transformation of energy, a calculation algorithm has been created for subsequent use in the digital twin software package. Static calculations were performed according to this program, the results of which showed a significant dependence of the solubility of carbon dioxide on the outboard water flow. Tabular and graphic materials are given in relative units of water consumption. T.1. Fig. 3. Bibliography 7 titles.

UDC 629.12.014 **Keywords:** steering machine, ship, ship, order, moment, series, navy, Register, standard, displacement, standard

Yu.V. Kopytov. Analysis of the history of the use of steering gears on ships and vessels//Morskoy Vestnik. 2022. № 4 (84). S. 77

A brief description of the applicability of steering gears of various types on ships and ships of almost all projects built in the USSR and the Russian Federation is given. T.1. Fig. 3.

UDC 628.517+621.646+678.4 **Keywords:** adjustable throttle device, throttle washer, pipeline, vibration

M.V. Kuklin. Investigation of vibroacoustic characteristics of a layout of an adjustable throttle device based on an impenetrable elastic membrane//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 79

The results of experimental studies of a model of an adjustable throttle device based on an impermeable elastic

membrane as a means of reducing hydrodynamic noise and vibration in pipeline systems are presented. The principle of operation of such devices is considered, the advantages of their use are formulated. Fig. 4. Bibliography 2 titles.

UDC 621.31 **Keywords:** power supply system, failure, information transmission channel, fuzzy set, fuzzy logic, membership function

V.A. Smirnov, Yu.F. Podoplyokin, A.N. Rudakov. Fuzzy model for assessing the state of the information transmission subsystem of the power supply system of critical objects//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 85

The article considers one of the important components of solving the problem of ensuring a high level of fault tolerance and safety of the power supply system of responsible facilities and prevention of emergency situations and man-made disasters. An approach is proposed to assess the state of the information transmission subsystem characterized by significant uncertainty and incompleteness of information for its modeling by traditional methods. Based on the technologies of fuzzy sets and fuzzy logic, a model has been developed based on the application of the proposed four particular criteria and a complex criterion for assessing the level of operability of the information transmission subsystem, which allows quantitative assessments to be supplemented with their interpretation in the form of qualitative assessments. The obtained estimates make it possible to provide the operator with information support in a timely manner and increase the efficiency of making proactive management decisions. The presented theoretical results can be used in the development of power supply systems operating under severe time constraints in the nuclear, space, chemical and military industries, medicine and transport. Fig. 5. Bibliography 9 titles.

UDC 681.51 **Keywords:** ship control systems for technical facilities, network technologies, digital control systems, client-server architecture

B.V. Grek, S.N. Surin. Experience in the development of ship control systems for technical means of client-server architecture//Morskoy Vestnik. 2022. № 4 (84). P. 89

Ship control systems for technical means of a client-server architecture are the result of the use of modern network technologies by technical means based on digital computing tools that provide interaction with command and control objects. Fig. 6. Bibliography 3 titles.

UDC 656.61:004.896 **Keywords:** artificial intelligence, maritime industry, navigation, classification, degree of confidence, performance indicator, assessment technique, stochastic simulation

A.G. Rodionov, V.V. Efimov, Yu.G. Creature. Artificial intelligence in navigation – a game of imitation? (Based on materials from foreign and open sources)//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 95

Various definitions of an artificial intelligence (AI) system, a standard classification of systems based on AI are considered. The increase in investment and the growth of AI applications in the global economy is shown. Directions for the use of AI in navigation are proposed and a decision is substantiated aimed at achieving confidence in its systems. It is proposed to use systems that implement stochastic simulation modeling to evaluate the effectiveness and training of AI in navigation. T. 1. Fig. 3. Bibliography 33 titles.

UDC 004.032.26 **Keywords:** neural networks, information support systems, artificial intelligence

A.Ya. Lapidus, A.A. Kutenev, A.Yu. Petrov. Structuring the process of analyzing operational information by the operator of control systems as a basis for building a topology of intelligent decision support systems//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 103

The functioning of intelligent decision support systems (ISPR) in real time is provided in conditions of continuous changes in the parameters of a dynamic object (DO) and the external environment. The implementation of effective algorithms for data analysis and interpretation in on-board ISPS, which are a complex integrated intellectual complex, is an urgent task of using new ideas and methods that require large computing resources under tight time constraints. One of the possible ways to solve this problem is to build a system based on algorithms and mechanisms of perception and operator actions that affect the formation of an operational image. Fig. 3. Bibliography 11 titles.

UDC 004.7 **Keywords:** drone, security, simulation, marine environment, polygon, virtual reality

A.A. Zhilenkov, S.G. Cherny. Modeling and application of a cyber-physical testing ground for software and marine hardware systems//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 106

The main concept of the described complex of virtual and hybrid polygons is the immersion of the control system of a robotic complex (RC), i.e. a physical object, into a virtual environment and ensuring the interaction of the RTC with this environment. The examples given for marine robotics objects emphasize the importance of building such systems, since the development and debugging of both the software and hardware parts of the control system, and even more so testing the control object in a real environment, requires high costs and is associated with a high probability of damage to the object or its complete loss. The complex of virtual and hybrid polygons developed at the Department of Cyber-Physical Systems of St. Petersburg State Medical University is based on advanced modeling technologies, high-performance computing, artificial intelligence and machine learning and allows real-time modeling and visualization of the virtual environment of the control object, obtaining the object's response to the processes occurring in the virtual environment, and vice versa. Fig. 7. Bibliography 4 titles.

UDC 3179 **Keywords:** 4D seismic monitoring of deposits, marine seismic survey, hydrodynamic analysis, strength analysis

K.A. Smirnov, N.N. Pasevich, P.K. Smirnov. Improvement of technologies in exploration of offshore deposits//Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 111

The issues of improving the technologies for conducting marine geophysical research are considered. Appropriate solutions are proposed. According to the results of engineering analysis, the optimal shape of the paravane thruster wing design was revealed. Fig. 6. Bibliography 6 titles.

UDC 621.51 **Keywords:** «Elektroradioavtomatika» JSC, history, ship electrical production, electrical work

E.A. Gubarev. From the history of the St. Petersburg enterprise «Elektroradioavtomatika» JSC //Morskoy vestnik. 2022. № 4 (84). P. 114

The history of the creation and development of the St. Petersburg enterprise «Elektroradioavtomatika» from the moment the Russian «General Electricity Company» was organized in 1901, then «Electrotrest», «Elmashtrest» and until the appearance in 1924 of the Leningrad Naval Construction Bureau of the State Electrotechnical Trust of the Supreme Council of National Economy USSR – the predecessor of the current ERA JSC. Fig. 3. Bibliography 9 titles.

UDC 623.8. **Keywords:** Lake Ladoga, besieged Leningrad, Ladoga military flotilla, lake transport, caravans, tugboats, barges

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, V.V. Sokolov. Supply of Leningrad on Lake Ladoga under blockade conditions (September 8 – December 1, 1941)//Morskoy Vestnik. 2022. № 4 (84). P. 118

In September 1941, the blockade of Leningrad began. The only way to supply the besieged city was Lake Ladoga. The article shows how the fleet carried out the evacuation and supply of Leningrad in navigation from September to December 1, 1941. Fig. 4. Bibliography 24 titles.

UDC 930.85 **Keywords:** Peter the Great, history of the Russian Navy, Alexander Nevsky, Peter's little boat, Gavril Buzhinsky, Feofan Prokopovich

R.A. Sokolov. Participation of the Navy in the transfer of the relics of Alexander Nevsky to St. Petersburg in 1724 //Morskoy Vestnik. 2022. № 4 (84). P. 121

Features of the ceremony of the final part of the transfer of the relics of Alexander Nevsky from Vladimir to St. Petersburg (August 30, 1724) included a number of nuances that are closely related to the navy. The ark with the remains of the saint was transported from Shlisselburg on a galley, which included warships, as well as the famous small boat. Soon after the relics ended up in the monastery located on the banks of the Neva, the sovereign's order to compose a new service to the saint followed. It was given to Archimandrite Gabriel (Buzhinsky), the chief hieromonk of the fleet, who earlier in his sermons emphasized the special significance of its creation and the importance of Peter's naval victories. In the text of the newly compiled service, a special place was given to gratitude for the help of the saint in these «victories». All this suggests that, according to the sovereign, Alexander Nevsky was supposed to be given the status of the second after St. Andrew the First-Called patron of the Russian navy. The death of the emperor prevented the fulfillment of his plan. Fig. 3. Bibliography 12 titles.