

Морской

Вестник



№2(82)

И Ю Н Ъ

2 0 2 2

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

КОМПРЕССОР



1877

2022

www.compressor.spb.ru, office@compressor.spb.ru

Средне-Невский судостроительный завод (СНСЗ) – одно из ведущих предприятий судостроительной отрасли России, лидер отечественного композитного судостроения в июле 2022 г. празднует 110-летний юбилей.

История СНСЗ началась в 1912 г. Петербургский Металлический завод сумел получить заказ на постройку двух эсминцев новейшего проекта типа «Новик» и на берегу Невы в трех километрах выше устья реки Ижора приобрел территорию и корпус уже неработающей бумажной фабрики. На исходе лета 1912 г. была основана «Усть-Ижорская верфь компании Петербургского Металлического завода». Уже в июне 1914 г. на ней были заложены два эсминца «Победитель» и «Забияка», а 23 октября торжественно спущены на воду и тут же заложены еще два эсминца того же проекта, но несколько улучшенного, – «Орфей» и «Гром». В 1917 г. на Усть-Ижорской верфи закладываются сразу восемь тральщиков, крайне необходимых Балтийскому флоту для ведения боевых действий. С этого времени тральщики становятся визитной карточкой завода.

Сегодня СНСЗ – крупное, современное, высокотехнологичное предприятие, со стапелей которого сошло более 600 кораблей и судов для флота России и на экспорт.

СНСЗ всегда отличался внедрением инновационных идей, которые позволяли поступательно развиваться не только предприятию, но и российскому судостроению в целом. СНСЗ был новатором в применении электросварки,

СРЕДНЕ-НЕВСКИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД - 110 ЛЕТ ИННОВАЦИЙ

АО «Средне-Невский судостроительный завод»,
контакт. тел. (812) 648 30 50



Корабль противоминной обороны пр. 12700 «Александрит»

первым в отечественном кораблестроении освоил строительство тральщиков из алюминий-магниевого и маломанганитных сплавов и, наконец, первым в стране и в мире стал выпускать корабли из стеклопластика.

И сегодня СНСЗ не отходит от сложившихся традиций и продолжает уделять особое внимание внедрению инновационных технологий создания корабля. Перед предприятием ставятся серьезные задачи. Его производственная программа включает в себя корабли

и суда различного назначения: корабли противоминной обороны, каютные и скоростные пассажирские суда, рабочие суда и катера длиной до 100 м, шириной до 16 м, осадкой до 4,5 м и спусковым весом до 2700 т.

Одно из важных направлений работы завода – выполнение государственного оборонного заказа. СНСЗ – единственное предприятие в стране, которое выпускает уникальные современные корабли пр. 12700. Их отличительная

Продолжение см. на с. 6



Катамаран «Грифон» пр. 23290

Морской Вестник



№ 2 (82)

И Ю Н Ь

2 0 2 2

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редационный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, генеральный директор
АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

М.В. Александров, генеральный директор АО «ЦТСС»,
президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

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

Г.А. Турчин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

А.С. Бузаков, генеральный директор
АО «Адмиралтейские верфи»

Н.М. Вихров, генеральный директор
ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

Е.Т. Гамбашидзе, генеральный директор

АО «Системы управления и приборы»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор
АО «СПМБМ «Малахит»

В.В. Дударенко, генеральный директор
ООО «Судпромкомплект»

А.А. Дьячков, генеральный директор
АО «Северное ПКБ»

М.В. Захаров, генеральный директор
ООО «Пумори-северо-запад»

С.Н. Ириутин, председатель
Санкт-Петербургского Морского Собрания

М.В. Исполов, директор
ЗАО «ЦНИИ СМ»

И.А. Карпенко, генеральный директор
ООО «Морское Инженерное Бюро-СПб»

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»

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

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

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

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

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

К.А. Смирнов, генеральный директор АО «МНС»

А.С. Соловьев, генеральный директор
ПАО «Выборгский судостроительный завод»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

В.С. Татарский, генеральный директор АО «ЭРА»

А.Л. Ульянов, генеральный директор
ООО «Нева-Интернэшнл»

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

Г.Р. Цатуров, генеральный директор
АО «Судостроительный завод «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор
АО КБ «Вымпел»

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

- Средне-Невский судостроительный завод – 110 лет инноваций* 1
- К 90-летию Ю.Н. Кормилицина* 7
- В.П. Кеонджан, В.В. Чугунов, И.В. Щербаков, А.Н. Суслов.**
Об аварийно-спасательном обеспечении Севморпути 9
- А.Р. Тогузян, С.Л. Анчиков, Л.И. Вишневский.**
Соосные гребные винты и двухступенчатые лопасти 13

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

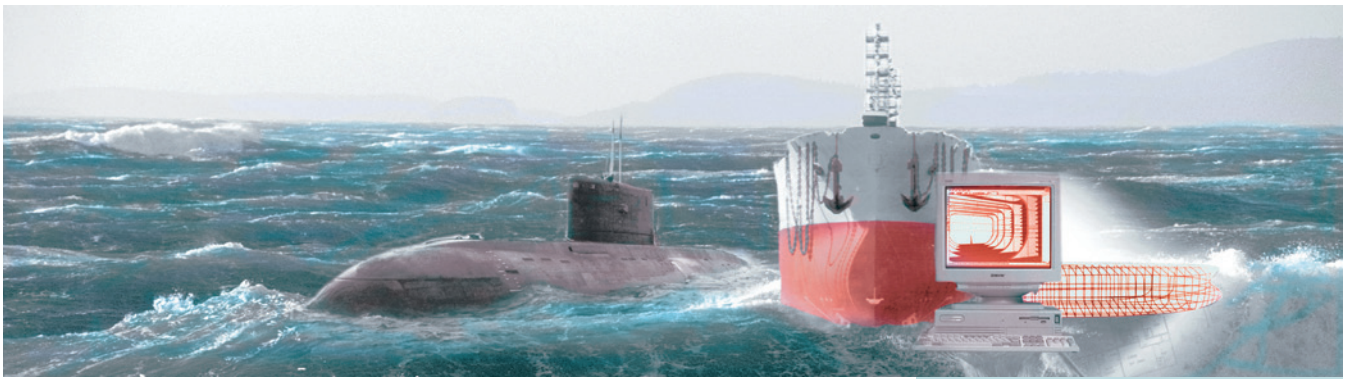
- О.В. Савченко, В.Н. Половинкин.** *Размышления
о состоянии и перспективах развития отечественного
гражданского судостроения. Часть 1* 19
- Б.П. Ионов, В.А. Старшинов.** *Атомный ледокол «Ленин»:
новые технологии в процессе ремонта и модернизации* 24

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

- В.В. Барановский, П.Г. Печковский.** *Обоснование направлений
развития и совершенствования энергетических установок
перспективных боевых надводных кораблей. Часть 1* 29
- А.Н. Дядик, Д.М. Кучинский, Д.О. Глазырина.**
Алгоритмы управления процессом очистки рабочего газа от углекислого газа 39
- В.Г. Михлин, А.А. Румянцев, Н.Н. Семенов, И.А. Шавырин.**
*Анализ технических решений насосных стреляющих устройств
на кораблях ВМС США* 42
- В.С. Кожевников, В.В. Потехин, П.К. Смирнов.**
*Расчет глубоководного гидравлического манипулятора МГМ-7.
Часть 2. Прочностной расчет и топологическая оптимизация* 45
- М.А. Баранов.** *Модернизация сепаратора сухой инерционной очистки* 51
- В.Б. Здрогов.** *Конструктивные особенности судовых электромостовых
кранов и пути совершенствования их технических характеристик* 53
- С.Г. Черный, В.А. Кучеренко, В.С. Чернуха, М.В. Кердысь.**
*Анализ условий работы системы охлаждения СЭУ забортной водой
с учетом эксплуатационных факторов* 58
- В.Г. Данилова.** *Обзор данных тематического исследования «Литий-ионные
батареи для подводного применения» GlobalData Thematic Research* 61
- К 75-летию Л.Г. Кузнецова* 63

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- В.А. Смирнов, Ю.Ф. Подоплёкин, А.Н. Рудаков.** *Интеллектуализация
систем электропитания высокоответственных объектов* 67
- А.С. Корнев, А.С. Скрыпка, С.П. Хабаров.** *Органы управления
движением автономного судна на дистанционном посту управления* 75



В.В. Якимов, Г.Е. Егизаров. Разработка информационной системы поддержки обучения проектированию и конструированию судов ледового плавания 81

В.Г. Ерышов, Р.Д. Куликов. Математическая модель процесса несанкционированного получения конфиденциальной информации киберразведкой из корпоративных информационных систем организаций и предприятий 85

К.Г. Шмагин. Классификация типовых узловых сборок с применением нейронных сетей 89

В.Н. Грачёв, Б.Ю. Семёнов, В.В. Фогель. Современные методы контроля сопротивления изоляции в корабельных системах компенсации магнитных полей корпусных конструкций 93

Н.А. Тарануха, Мин Ко Ко. Экспериментальное определение коэффициентов демпфирования дюралюминиевого материала на основе идеи предельного перехода с помощью лазерного виброметра 96

П.А. Зубков. Оценка противопожарной безопасности корабельных помещений с использованием программных средств автоматизированного структурно-логического моделирования. Часть 1 99

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

В.Р. Ефремов. Биологическое обрастание: факторы возникновения и методы борьбы 107

Г.А. Пелехов, А.А. Хохлов. Анализ углов статической и динамической устойчивости штабеля при поярусном креплении 108

В.Н. Илюхин. Создание и развитие системы охраны жизни людей на водных объектах. К 150-летию ВОСВОД России 112

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

Петр I – отец флота российского 117

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, В.Э. Руденко, И.А. Субботин. Тральщики Российского императорского флота 120

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Плавучие доки: оценка технического состояния, освидетельствование, расчеты прочности. Проблемные вопросы. Перспективы восстановления и развития докового хозяйства. «Круглый стол», проведенный секцией «Техническая эксплуатация и судоремонт» РосНТО им. акад. А.Н.Крылова 123

Создание и развитие системы охраны жизни людей на водных объектах. «Круглый стол», посвященный 150-летию создания ВОСВОД России 124

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

И.А. Леценко. В добрый путь, «Николай Орлов»! 126

Главный редактор

Э.А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д.С. Глухов

Тел./факс: (812) 6004586

Факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г.Н. Антонов, д-р техн. наук

А.И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.

Е.А. Горин, д-р экон. наук

В.Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.

Б.П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д.В. Казунин, д-р техн. наук

Р.Н. Караев, канд. техн. наук

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

А.И. Короткин, д-р техн. наук, проф.

П.А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П.И. Малеев, д-р техн. наук

Д.В. Никущенко, д-р техн. наук

Ю.Ф. Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., акад. 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.

Н.П. Шаманов, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т.И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С.А. Кириллов, В.Л. Колпакова

Адрес редакции

190068 Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12047 от 11 марта 2002 г.

Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190068, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник»

включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс ПМ 467) может быть оформлена по

каталогу Почты России «Подписные издания»

или непосредственно в редакции журнала через

издательство «Мор Вест»

Отпечатано в ООО «Типография «Премиум-пресс»

Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург,

Нарвский пр., д.18 лит. А

Тираж 500 экз. Заказ № 807

Дата выхода в свет – 09.06.2022

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



№2(82)
J u n e
2 0 2 2

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 SSTS,
President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

V.S. Nikitin,

President of the International
and Russian Scientific and Technical Association
of Shipbuilders named after Acad. A.N. Krylov

G.A. Turichin, Rector SpbSMTU

Council Members:

A.S. Buzakov, General Director
JSC Admiralty Shipyards

A.A. Diachkov, General Director
JSC Severnoye Design Bureau

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMDB Malachite

V.V. Dudarenko, General Director
JSC Sudpromkomplekt

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

E.T. Gambashidze, General Director
JSC Control Systems and Instruments

S.N. Iryutin, Chairman
St. Petersburg Marine Assembly

M.V. Ispolov, Director JSC CRIME

I.A. Karpenok, General Director
JSC Marine Engineering Bureau SPb

E.A. Konov, Director
JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanov, General Director
JSC SPF Meridian

G.A. Korzhavin, Scientific Director
JSC Concern Granit-Elektron

A.V. Kuznetsov, chairman of the board of directors
JSC Armatit

L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor

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

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

A.G. Rodionov, General Director
JSC Sitronics KT

S.V. Savkov, General Director
JSC NE

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

V.V. Shatalov, General Director
JSC DO Vympel

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

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director
PJSC Vyborg Shipyard

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

G.R. Tsaturov, General Director JSC Shipyard Pella

A.L. Ulyanov, General Director
LLC Neva International

N.M. Vikhrov, General Director
JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

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

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- Sredne-Nevisky Shipbuilding Plant – 110 years of innovations* 11
- To the 90th anniversary of Yu.N. Kormilitsin* 7
- V.P. Keondzhan, V.V. Chugunov, I.V. Scherbakov, A.N. Suslov.**
On rescue support of the Northern Sea Route 8
- A.R. Togunjac, S.L. Anchikov, L.I. Vishnevsky.**
Contra-rotating propellers and two-stage blade propulsors 13

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANIZATION OF SHIPBUILDING

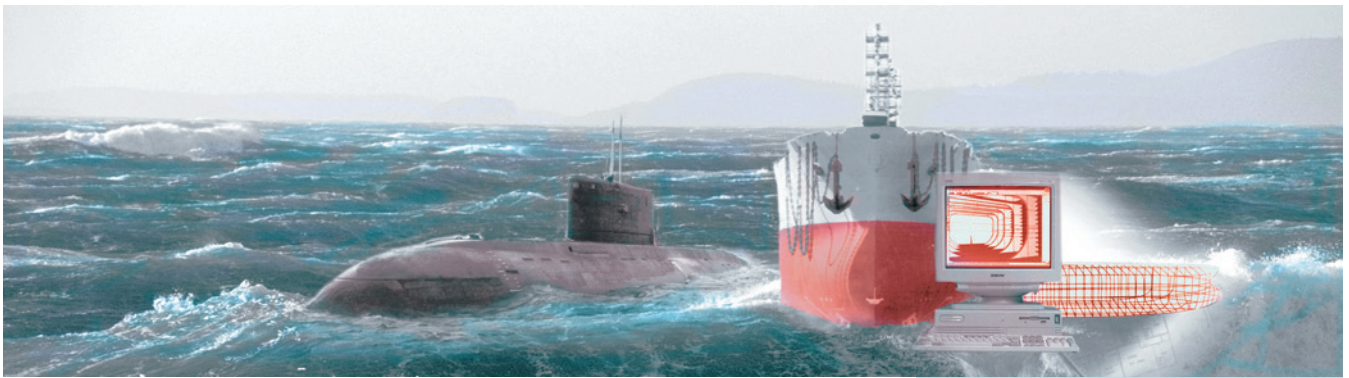
- O.V. Savchenko, V.N. Polovinkin.** *Reflections on the state and prospects for the development of domestic civil shipbuilding. Part 1* 19
- B.P. Ionov, V.A. Starshinov.** *Nuclear icebreaker «Lenin»: new technologies in the process of repair and modernization* 24

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- V.V. Baranovsky, P.G. Pechkovsky.**
Substantiation of directions for the development and improvement of power plants of promising combat surface ships. Part 1 29
- A.N. Dyadik, D.M. Kuchinsky, D.O. Glazyrina.** *Algorithms for controlling the process of cleaning the working gas from carbon dioxide* 39
- V.G. Mikhlin, A.A. Rummyantsev, N.N. Semenov, I.A. Shavyrin.**
Analysis of technical solutions for pump firing devices on US Navy ships 42
- V.S. Kozhevnikov, V.V. Potekhin, P.K. Smirnov.**
Calculation of the MGM-7 deep-water hydraulic manipulator. Part 2. Strength calculation and topological optimization 45
- M.A. Baranov.** *Modernization of the dry inertial cleaning separator* 51
- V.B. Zdrogov.** *Design features of ship electric bridge cranes and ways to improve their technical characteristics* 53
- S.G. Cherny, V.A. Kucherenko, V.S. Chernukha, M.V. Kerdys'.**
Analysis of the operating conditions of the SPP cooling system with outboard water, taking into account operational factors 58
- V.G. Danilova.** *Data review of the case study «Lithium-ion batteries for underwater applications» GlobalData Thematic Research* 61
- To the 75th anniversary of L.G. Kuznetsov* 63

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- V.A. Smirnov, Yu.F. Podoplekin, A.N. Rudakov.**
Intellectualization of power supply systems for highly responsible objects 67
- A.S. Korenev, A.S. Skrypka, S.P. Khabarov.**
Controls for the movement of an autonomous vessel at a remote control post 75



V.V. Yakimov, G.E. Egiazarov. Development of an information system to support training in the design and construction of ice-going ships..... 81

V.G. Eryshov. Mathematical model of the process of unauthorized receipt of confidential information by cyberintelligence from corporate information systems of organizations and enterprises..... 85

K.G. Shmagin. Classification of typical nodal assemblies using neural networks 89

V.N. Grachyov, B.Yu. Semyonov, V.V. Fogel'. Modern methods of insulation resistance control in ship systems for compensating magnetic fields of hull structures..... 93

N.A. Taranukha, Min Ko Ko. Experimental determination of the damping coefficients of duralumin material based on the idea of limit transition using a laser vibrometer 96

P.A. Zubkov. Evaluation of fire safety of ship premises using software tools for automated structural and logical modeling. Part 1 99

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

V.R. Efremov. Biological fouling: factors of occurrence and methods of control 107

G.A. Pelekhov, A.A. Khokhlov. Analysis of the angles of static and dynamic stability of the stack with tiered fastening..... 108

V.N. Ilyukhin. Creation and development of a system for protecting the life of people at water bodies. On the occasion of the 150th anniversary of the VOSVOD of Russia 112

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

Peter I - the father of the Russian fleet 117

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, V.E. Rudenko, I.A. Subbotin. Minesweepers of the Russian Imperial Fleet..... 120

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

Floating docks: assessment of the technical condition, survey, strength calculations. Problem questions. Prospects for the restoration and development of the dock facilities. «Round table» held by the section «Technical operation and ship repair» Russian Science and technology society of shipbuilders named after academician A.N. Krylov 123

Creation and development of a system for protecting the life of people at water bodies. «Round table» dedicated to the 150th anniversary of the establishment of VOSVOD Russia..... 124

IN THE MARITIME ASSEMBLY

I.A. Leshchenko. Good luck, «Nikolai Orlov»! 126

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc.

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

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

E.A. Gorin, D. Sc.

V.N. Ilyukhin, D. Sc., Prof.

B.P. Ionov, D. Sc., Prof.

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

Yu.N. Kormilitsin, D. Sc., Prof.

A.I. Korotkin, D. Sc., Prof.

P.A. Krotov, D. Sc., Prof.

P.I. Maleev, D. Sc.

D.V. Nikushchenko, D. Sc.

Yu.F. Podoplyokin, D. Sc., Prof., member of the Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

V.N. Polovinkin, D. Sc., Prof.

A.V. Pustoshny, D. Sc., Prof., corresponding member of the Academy of Sciences of Russia

A.A. Rodionov, D. Sc., Prof.

K.V. Rozhdstvensky, D. Sc., Prof.

N.P. Shamanov, D. Sc., Prof.

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T.I. Ilychiyova

Design, imposition

S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova

Editorial office

office 13N, 84, Nab. r. Moyki,

190068, St. Petersburg

The magazine is registered by RF Ministry of Press,

TV and Radio Broadcasting and Means of Mass

Communications, Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

office 13N, 84, Nab. r. Moyki,

190068, St. Petersburg

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya

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 ПИМ 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 № 807

Publication date – 09.06.2022

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

особенность – то, что они построены из композитных материалов. Их корпус – это стеклопластиковый монолит, сформированный по современной технологии методом вакуумной инфузии. Масса такого корпуса значительно ниже по сравнению с металлическим, что позволяет снизить расход топлива. При этом значительно увеличивается его прочность. Такую корпусу не страшно коррозия, а срок службы при соблюдении норм эксплуатации практически неограничен.

СНСЗ активно применяет свои компетенции в работе с композитными материалами и в области гражданского судостроения. Ярким примером этого стал инновационный катамаран «Грифон» пр. 23290. Этот катамаран обладает множеством характеристик, говорящих о судне как о новом лице российского скоростного пассажирского флота. Катамаран уже успешно показал себя на маршруте Новороссийск–Геленджик–Сочи, а с 2022 г., впервые за 29 лет, доставляет пассажиров из Сочи в Сухум.

Еще одним значимым событием для верфи стало строительство пассажирских судов пр. А45-90.2 – «Андрей Дубенский» (головное судно) и «Виктор Астафьев», строящихся в рамках контракта с Государственной транспортной лизинговой компанией, с использованием мер господдержки. СНСЗ должен впервые в стране выполнить строительство двух судов класса «река-море», которые будут работать в Арктической зоне Российской Федерации, на социально значимом маршруте Красноярск–

Красноярск–Дудинка–Красноярск на реке Енисей, где перевозка людей на большие расстояния по водным артериям – практически безальтернативное средство транспортировки. Суда пр. А45-90.2 предназначены для перевозки 245 пассажиров в комфортабельных каютах на маршруте протяженностью до 5000 км. Особую роль в проекте играют безопасность, экономическая эффективность, уровень комфорта, отвечающий современным мировым стандартам, а также высокая экологичность. Этим проектом СНСЗ открыл не только новое направление в своей производственной деятельности, но и сделал большой шаг к масштабному обновлению парка отечественных гражданских судов, которые способны успешно выполнять поставленные перед ними задачи в большинстве регионов страны.

Кроме того, на предприятии состоялась закладка двух единиц из серии пассажирских катамаранов пр. 04580 «Котлин» – «Форт «Кроншлот» и «Форт «Петр Первый». Всего будет построено шесть таких катамаранов. Они будут использоваться для нужд активно развивающегося Музейно-исторического парка «Остров фортов», а также помогут решить социально значимый вопрос по доставке пассажиров из Санкт-Петербурга в Кронштадт и обратно, а также связать центр города со всеми значимыми объектами Невской губы (Стрельна, Петергоф, Морской фасад, Ломоносов, Лахта, Горская). По условиям контракта сдача первых двух единиц запланирована на май 2023 г., вторая пара будет передана

заказчику в навигацию 2024 г., и третья – в мае 2025 г. В сентябре прошлого года спущено на воду уникальное научно-исследовательское судно «Пионер-М» пр. 25700, выполненное с применением композитных материалов. Судно будет обладать технологиями «безэкипажного» судовождения. Планируется его круглогодичная эксплуатация в акваториях Черного и Азовского морей. Также завершаются работы по изготовлению катушки полоидального поля PF-1, которые ведутся совместно с НИИЭФА им. Д.В. Ефремова в рамках международного проекта по созданию экспериментального термоядерного реактора ИТЕР.

Сегодня Средне-Невский судостроительный завод является лидером композитного судостроения в России и единственным в стране предприятием, освоившим строительство кораблей и судов из четырех видов материалов: композитных, судостроительной стали, алюминий-магниевого сплава и маломагнитной стали.

Коллектив завода насчитывает более 2000 человек. Высокий профессиональный уровень специалистов и рабочих, освоение передового опыта и активное внедрение инновационных технологий в производстве и актуальный уровень его цифровизации – эти характерные черты делают Средне-Невский судостроительный завод безусловным флагманом в отрасли.

110-летию АО «СНСЗ» будет посвящен специальный выпуск журнала «Морской вестник» №1(15), 2022. ■





1 июля 2022 г. исполняется 90 лет со дня рождения генерального конструктора неатомных подводных лодок Юрию Николаевичу Кормилицину.

Очень рано Юрий заинтересовался кораблестроением, с огромным интересом рассматривал журнал «Джейн», мастерил модели линкоров, эсминцев, но больше подводных лодок, которые у него не только ходили на резино-моторном двигателе по воде, но и уходили в глубину и некоторое время шли под водой.

Родился Юрий в семье кораблестроителей. Его отец строил подводные лодки на «Дальзаводе» во Владивостоке, мама работала там же, в конструкторском бюро чертежницей. С раннего детства он видел и знал, чем занимается отец, который никогда не читал лекций, нотаций, просто своим примером показывал, как надо жить, как надо работать.

Отец даже в то «засекреченное» время водил сына на завод – и Юрий знал на заводе все цеха, доки, знал, что такое батопорт, как заполняется док, зачем, почему. Отец брал Юрия и на ходовые испытания кораблей и подводных лодок.

Кораблестроителем Юрий быть не хотел, были другие увлечения. Родители предоставили полную свободу выбора. И все-таки поразмыслив, Юрий поступил на кораблестроительный факультет Дальневосточного политехнического института и довольно скоро понял, что жизненный выбор сделан верно. После окончания первого курса перевелся на второй курс Ленинградского кораблестроительного института.

Заканчивая Корабелку, Юрий защищал дипломный проект «Атомная подводная лодка с крылатыми ракетами». В 1956 г. по распоряжению пришел в ЦКБ-18, будущий «Рубин», и был включен в группу инженеров, которая

занималась созданием дизельной лодки типа «Фокстрот» (пр. 641). После первого года работы, когда «Рубину» было поручено проектирование АПЛ с крылатыми ракетами (ими занялся Николай Андреевич Климов), Кормилицина направили в его группу. Потом в «Рубине» пошла «глубоководная тематика», и Игорь Дмитриевич Спасский, тогда еще главный инженер ЦКБ, направил Юрия Николаевича заместителем главного конструктора первого в Советском Союзе аппарата «Север-2», способного опускаться на глубину 2000 м. И тут начали строить лодку второго поколения пр. 641Б, она плохо пошла, нужно было подкрепить группу главного конструктора специалистами-глубоководниками.

Участвовал Кормилицин и в пр. 685 «Плавник» – в создании глубоководной АПЛ «Комсомолец». А когда рано из-за болезни ушел из жизни ее главный конструктор Николай Андреевич Климов, Кормилицин сменил его в этой должности.

Когда «Рубину» было поручено создать малошумную подводную лодку третьего поколения, Ю.Н. Кормилицина назначили ее главным конструктором. И, начиная от замысла, «с белого листа», проект 877 – это детище Кормилицина.

Задача была не из легких, так как вопросы шумности еще решены не были и новое оборудование отсутствовало.

Лодка пр. 877 стала первой по-настоящему подводной. Это был революционный шаг: перейти от традиционной, десятилетиями культивируемой «стремильно хищной» формы к дирижаблеводной, с совершенно иными обводами. Возникло фактически новое направление в подводном кораблестроении, и «отцом» его стал Юрий Николаевич Кормилицин. В 1976 г. был защищен технический проект, а в 1980 г. головная подводная лодка уже была спущена на воду, испытана и сдана флоту.

Лодки этого проекта, модернизированные и модифицированные, строятся уже более сорока лет самой большой серией, составившей целое семейство, известное, как «class Kilo» – по натовской терминологии или «Варшавянка» по советской. И хотя подводная лодка пр. 877 считается наиболее успешной в неатомном подводном кораблестроении XX в., ее создатели задумались над более совершенным продолжением. Те идеи, которые были заложены в «Варшавянке», получили дальнейшее развитие в пр. 677 «Лада» – значительно меньшего водоизмещения, но с более высокими боевыми качествами.

Генеральным конструктором проекта стал Ю.Н. Кормилицин. Он считал эту будущую лодку pilotным проектом XXI в., абсолютно новую более чем на 70 процентов. Это была подводная лодка четвертого поколения, превосходящая по боевой эффективности отечественные и зарубежные аналоги. «Рубин» и «Адмиралтейские верфи» сумели организовать строительство новой подлодки.

26 декабря 1997 г. на «Адмиралтейских верфях» состоялась закладка головной подводной лодки пр. 677, получившей имя «Санкт-Петербург».

28 октября 2004 г. головная подлодка «Санкт-Петербург» была спущена на воду. В декабре 2005 г., после швартовных испытаний, сразу начались ее заводские ходовые и государственные испытания, которые лодка успешно прошла и была отправлена в опытную эксплуатацию, длившуюся десять лет. Преодолевав все трудности нынешнего времени, головная неатомная подводная лодка «Санкт-Петербург» пр. 677 в 2021 г. была принята как боевая единица в состав ВМФ РФ.

После ухода из «Рубина» Ю.Н. Кормилицин перешел на постоянную работу в Кораблестроительный институт, где уже проработал более 60 лет. Параллельно Юрий Николаевич более 30 лет преподает в Военно-морском политехническом институте в г. Пушкин, где аудитория №1 на кафедре теории корабля названа в его честь. За время своей деятельности Юрий Николаевич выпустил более 200 научных трудов, в том числе 6 полномасштабных учебника, 18 учебных пособий, 15 монографий и получил 42 патента.

В настоящее время Юрий Николаевич работает в фирме «БАРС» заместителем генерального директора по стратегическому развитию компании и проектированию морской техники.

Юрий Николаевич награжден двумя Государственными премиями и многими орденами и медалями. Особенно он ценит медаль Горчакова от Министерства иностранных дел и медаль и орден «За заслуги перед Санкт-Петербургом».

Ю.Н. Кормилицин навсегда вписал свое имя в историю ЦКБ МТ «Рубин» и в историю Санкт-Петербурга как выдающийся кораблестроитель России.

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» поздравляют Ю.Н. Кормилицина с 90-летием и желают юбиляру доброго здоровья, благополучия и успехов на благо Отечества! ■

Северный морской путь – важнейшая транспортная магистраль Арктической зоны России с постоянно увеличивающимся грузопотоком. В 2021 г. он достиг рекордного уровня – около 33 млн. т. Поставлена задача довести этот уровень к 2024 г. до 80 млн. т, а к 2030 г. – до 100 млн. т. Такой рост объема грузоперевозок, естественно, ведет к увеличению количества судов, работающих на трассе Севморпути как в западном, так и в восточном направлениях, а с учетом ввода в эксплуатацию еще нескольких атомных ледоколов большой мощности – к расширению сроков навигации вплоть до круглогодичной.

Однако такое увеличение и расширение судопотоков повышает вероятность возникновения аварийных ситуаций, что требует более системного подхода к аварийно-спасательному обеспечению Севморпути на ближайшую и длительную перспективу.

В утвержденной Указом Президента РФ «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» (далее – Стратегия) отражены основные опасности, вызовы и угрозы, формирующие риски для развития этой зоны и обеспечения национальной безопасности. К ним в том числе отнесены:

- отставание сроков развития инфраструктуры Севморпути, строительства судов ледокольного, аварийно-спасательного и вспомогательного флотов от сроков реализации экономических проектов,
- несоответствие темпов развития аварийно-спасательной инфра-

ОБ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ СЕВМОРПУТИ

В.П. Кеонджан, д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН, ген. директор ГК «Альянс»,

В.В. Чугунов, ген. директор ООО «Арктические Морские Технологии»,

И.В. Щербakov, ген. директор ООО ПКБ «Петробалт»,

А.Н. Сулов, д-р техн. наук, проф. СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (985) 999 2400, +7 (921) 902 7706

структуры и системы общественной безопасности темпам роста хозяйственной деятельности;

- отсутствие системы экстренной эвакуации и оказания медицинской помощи членам экипажей морских судов в акватории Севморпути.

Среди основных направлений и мер по локализации и устранению указанных опасностей и факторов, а также реализации Стратегии в целом предусматривается:

- создание объектов инфраструктуры аварийно-спасательных подразделений и арктических центров МЧС России в г. Певек, поселках Сабетта, Диксон и Тикси;
- строительство не менее 16 аварийно-спасательных и буксирно-спасательных судов различной мощности и ледового класса;
- сокращение сроков реагирования на чрезвычайные ситуации с учетом решаемых задач и природно-климатических условий Арктической зоны;
- использование технологий и объектов инфраструктуры двойного назначения в интересах комплексного решения в Арктической зоне

задач в области обороны.

Целью создания указанных арктических аварийно-спасательных центров (АСЦ) МЧС является обеспечение проведения поисково-спасательных работ и мероприятий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций в зоне ответственности этих центров, в том числе на трассе Севморпути. При этом для повышения их эффективности на морской акватории там же планируется создание морских спасательных центров и аварийно-спасательных подразделений «Морспасслужбы» (МСС) Минтранса РФ, которым придаются в управление предусмотренные к строительству 16 аварийно-спасательных и буксирно-спасательных судов различной мощности и ледового класса.

В соответствии со Стратегией эти суда должны прежде всего обеспечивать инфраструктуру трассы Севморпути (в том числе портов и портопунктов вдоль этой трассы). Однако большая их часть (10 ед.) – это буксирно-спасательные и противопожарные суда и буксиры относительно невысокого ледового класса – Arc4 и Arc5. При этом только шесть из них будут базироваться в портах непосредствен-

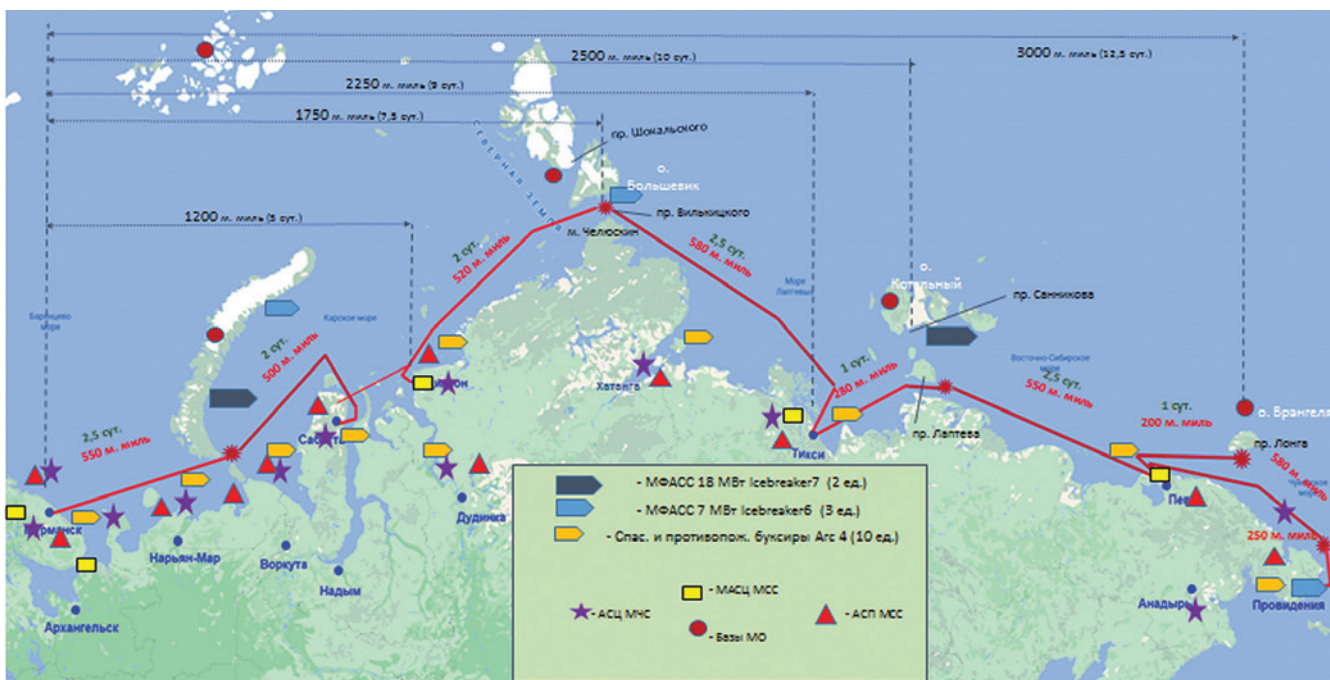


Рис. 1. Возможности МФАСС по проведению аварийно-спасательных работ на трассе Севморпути (автономность, удаленность от Центров МЧС и МСС, вертолетная обеспеченность)

но вдоль трассы Севморпути и предназначены для обеспечения безопасной деятельности в портовых и околопортовых акваториях. Их участие в аварийно-спасательных операциях на трассе Севморпути, особенно в ледовый период, крайне ограничено в первую очередь из-за функционирования этих портов (кроме порта Сабетта) только в летне-осенний период. В этой связи, исходя из планируемой МСС дислокации судов (рис. 1), эти функции возлагаются, прежде всего, на два многофункциональных аварийно-спасательных судна (МФАСС) высокого ледового класса (icebreaker 7) мощностью 18 МВт и два аварийно-спасательных судна ледового класса icebreaker 6 мощностью 7 МВт.

В результате аварийно-спасательное обеспечение на всей трассе от Новой Земли до Берингова пролива во время летне-осенней и частично зимней навигации будут обеспечивать *только четыре* судна. При этом технические характеристики, условия базирования и дислокации этих судов не в полной мере адаптированы к задачам для максимального аварийно-спасательного обеспечения непосредственно на трассе Севморпути. Причины этого в следующем:

- суда имеют ограниченную (с учетом расстояний до мест базирования и возможной ледовой обстановки в ходе спасательных операций) автономность по запасам топлива (5000 мор. миль), воды и провизии (30 суток);
- на трассе отсутствуют техническая возможность выполнения аварийно-ремонтных работ;

- слабое вертолетное обеспечение (способность только принимать вертолеты) или его полное отсутствие (у МФАСС мощностью 18 МВт);
- возможность нахождения спасенных на борту не более одних суток, а также отсутствие на этих судах медицинского блока со стационарным, операционной и соответствующим медперсоналом, способным оказать срочную помощь.

Последнее обстоятельство особенно важно, поскольку, по данным Федерального медико-биологического агентства (ФМБА), практически на всем протяжении трассы Севморпути отсутствуют (или находятся на значительном расстоянии от побережья) медицинские организации, способные оказывать квалифицированную специализированную, а часто и первичную помощь. В связи с этим возможностей для экстренной эвакуации пострадавших членов экипажей судов, даже при наличии указанных четырех аварийно-спасательных судов, практически нет. Усугубляется ситуация и сложными погодными условиями в регионе.

Таким образом, можно констатировать, что эти четыре судна не в состоянии в полном объеме решить задачи по аварийно-спасательному обеспечению, поставленные в Стратегии в условиях все возрастающего судопотока на трассе Севморпути и повышения его международного значения. Надо полагать, что во многом из-за этого на Президиуме Госкомиссии по вопросам развития Арктики, состоявшемся 12 ноября 2021 г., Минтранс России и

Минпромторгу России совместно с ГК «Росатом» было поручено проработать вопрос о строительстве дополнительных многофункциональных аварийно-спасательных судов мощностью 18 МВт для наращивания их группировки в восточном секторе до 2024 г.

В соответствии с этим поручением и в целях повышения эффективности аварийно-спасательного обеспечения как на трассе Севморпути, так и прилегающих береговых территориях, а также реализации ряда других мер, указанных в Стратегии, компания «Арктические Морские Технологии» совместно с проектно-конструкторским бюро «Петробалт» разработала концепцию мобильных автономных морских комплексов аварийно-спасательного обеспечения (АМК АСО). Каждый из таких комплексов будет базироваться на платформе (базе) одного многофункционального судна высокого ледового класса (icebreaker 7), способного разместить на своем борту всю необходимую технику, оборудование и обеспечить их надежное функционирование (рис. 2).

Группировка из трех-четырех таких комплексов может стать альтернативой (или дополнением) предложению по строительству четырех выше рассмотренных аварийно-спасательных судов, поскольку по сравнению с ними имеют ряд существенных преимуществ (см. таблицу).

Превышая эти суда по своим техническим и функциональным качествам (прежде всего по автономности, вертолетному и медицинскому обеспечению), они позволят в значитель-



Рис. 2. Автономный морской комплекс аварийно-спасательного обеспечения (АМК АСО)

Сравнение технико-экономических показателей многофункциональных аварийно-спасательных судов (МФАСС) и автономного морского комплекса аварийно-спасательного обеспечения (АМК АСО)

Технические характеристики	МФАСС (2+2 ед.)		АМК АСО (4 ед.)
Мощность ГЭУ	18 МВт–2ед.; 7МВт–2 ед.		18 МВт
Ледовый класс	Icebreaker7	Icebreaker6	Icebreaker7 Лед 2–2,5 м
	Лед 2–2,5 м	Лед–до 1,5 м	
Автономность по топливу	5000 мор. миль		22 000 мор. миль
Автономность по запасу провизии и воды	30 сут.		120 сут.
Обеспечение спасенных:			
– количество мест для спасенных	180 сидячих		150 сидячих и 100 коек
– время нахождения на борту	1 сут.		Не менее 15 сут.
– количество мест в госпитале			20
– наличие операционных	–		+
Вертолетное обеспечение	–	Возможность приема только 1 вертолета без дозаправки	Вертолетный комплекс: 1 ангар – 1 вертолет (МИ 8/38) 2 ВПП для приема еще 2 вертолетов МИ 8/38. возможность их дозаправки
Ориентировочная строительная стоимость за ед., руб.	Ок. 14 млрд.	Ок. 7 млрд.	Ок. 16 млрд.

ной мере расширить возможности береговых АСЦ МЧС, а в качестве Центров по управлению аварийно-спасательными работами на определенных участках Севморпути объединить и координировать усилия и действия таких структур, как МЧС, МСС Минтранса, ФМБА и, возможно, ГК «Расатом» и Министерство обороны.

Основным техническим преимуществом таких комплексов является их способность оперативно и практически круглогодично доставлять и использовать всю необходимую технику и оборудование к месту возможных аварий судов, прежде всего на трассе Севморпути, а с использованием выдвинутой плавучей аппарели – к объектам на берегу, даже на необорудованном. Имея на своем борту медицинский блок со стационаром, операционной и соответствующим медперсоналом, АМК АСО способны оказать срочную помощь пострадавшим членам экипажей судов на море и персоналу на берегу. Наличие в составе комплекса собственного вертолета Ми-8 (или Ми-38) и двух площадок для приема и возможной дозаправки еще одного-двух вертолетов позволит значительно повысить эффективность аварийно-спасательных и других операций, в том числе ледовой разведки (рис. 3).

Эти преимущества, а также сокращение сроков реагирования на чрезвычайные ситуации в условиях Арктической зоны являются приоритетными для МЧС РФ и МСС Минтранса РФ.

Кроме того, один из рассматриваемых комплексов мог бы эффективно

Основные характеристики комплекса

Характеристика	Значение
Длина по КВЛ, м.....	143
Ширина по КВЛ, м.....	25
Осадка, м.....	10
Водоизмещение, т.....	27 885
Численность экипажа / спецперсонала, чел. (в т.ч. летный и инженерно-технический состав).....	30/100
Численность спасенных, чел.	150
Количество топлива, т.	Ок. 6000
Дальность плавания (эконом. ход), мили	22 000
Автономность (по запасам провизии и воды), сут.....	120

выполнять функции международного Арктического научно-испытательного полигона аварийно-спасательной техники и технологий. Это станет серьезным вкладом Российской Федерации в усилия стран-участниц Арктического Совета по повышению безопасности деятельности в Арктике.

Такой комплекс целесообразно оснастить необходимым оборудованием и программным обеспечением для оперативной оценки непотопаемости и остаточной прочности судов, попавших в аварийную ситуацию. В настоящий момент в соответствии с Правил 37(4) МК МАРПОЛ 73/78 каждый нефтеналивной танкер дедвейтом 5000 т и более, независимо от даты постройки обязан иметь организованный и отлаженный заранее быстрый доступ к компьютеризированным береговым программам расчета остойчивости в поврежденном состоянии и остаточной конструктивной прочности.

Очевидно, что подобное требование необходимо распространить на все суда (а не только на нефтеналивные танкеры дедвейтом более 5000 т), находящиеся в акватории Севморпути. В этом случае часть судов будет под

наблюдением действующих береговых центров (служб) быстрого реагирования (БСБР), а часть – под наблюдением Центра по управлению аварийно-спасательными работами.

При возникновении аварийной ситуации оценка состояния аварийного судна выполняется указанными центрами, которые сообщают свои расчеты и рекомендации в Центр по управлению аварийно-спасательными работами, который будет координировать ход аварийно-спасательных работ.

В настоящий момент все действующие береговые центры быстрого реагирования имеют полную проектную информацию о судах, которые они обслуживают. Эта информация включает буклеты расчетов посадки, начальной остойчивости и общей прочности для неповрежденных судов, буклеты расчетов аварийной остойчивости, информацию о конструкции корпуса судна. Для подтверждения возможности оказания указанных услуг классификационные общества освидетельствуют как сами центры, так и программное обеспечение, позволяющее оценивать состояние аварийного судна.

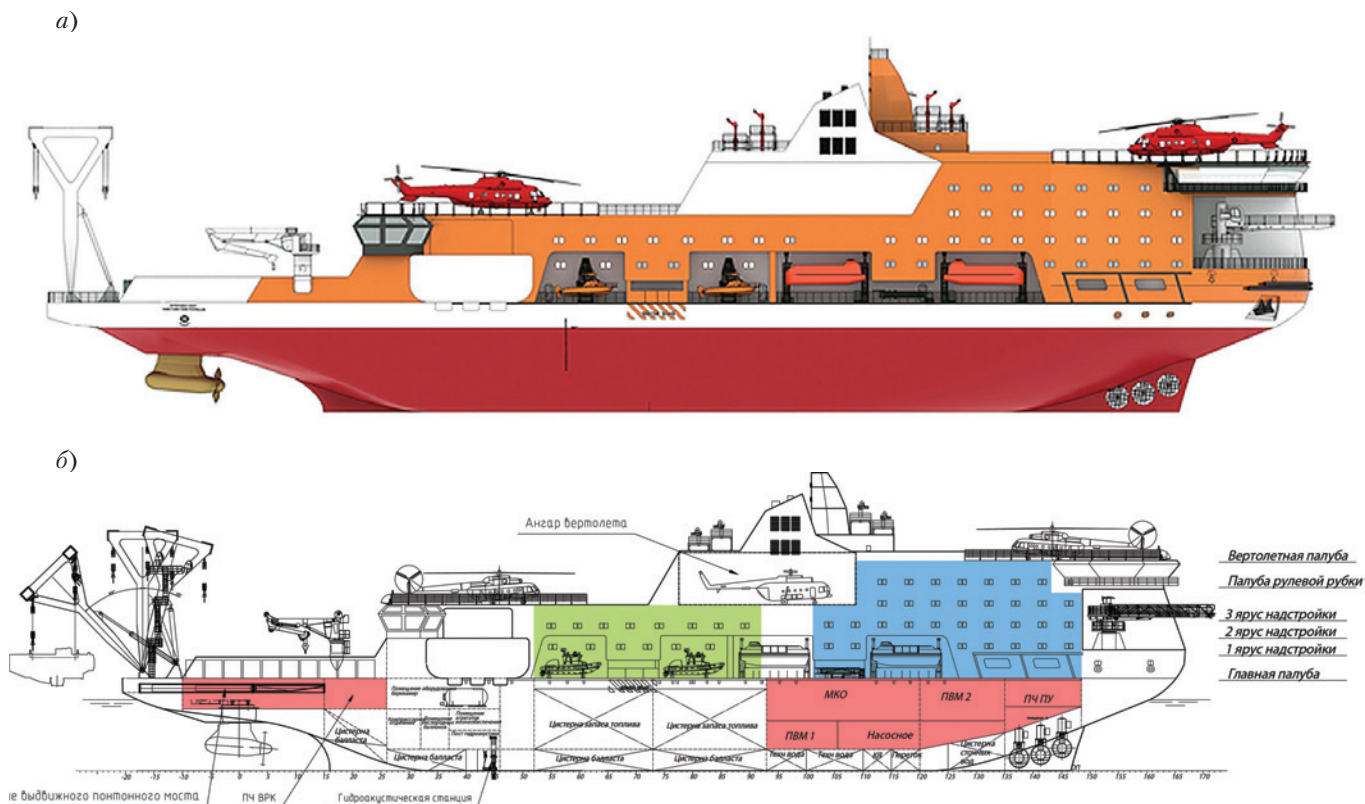


Рис. 3. Автономный морской комплекс аварийно-спасательного обеспечения (АМК АСО), вид сбоку (а) и продольный разрез (б)

Порядок работы центра:

- при возникновении аварийной ситуации с аварийного судна в центр передается информация о его текущей загрузке (в случае согласованного программного обеспечения с бортового грузового компьютера аварийного судна информация о загрузке передается в центр в электронном виде, а при отсутствии такой связи – с использованием имеющихся средств связи передается текстовая информация о текущем грузовом плане судна);
- далее передается информация о пробоине (положение, размеры, глубина и пр.) и об аварийных танках.
- на основе полученных сведений центр проводит расчеты аварийной устойчивости и остаточной прочности аварийного судна в текущем состоянии, а также ряд расчетов по возможному изменению (улучшению) состояния судна.

В дальнейшем для оценки сложных аварийных случаев центры должны иметь программное обеспечение, основанное на методе конечных элементов (МКЭ), позволяющем проводить указанные расчеты.

Таким образом, создание группировки АМК АСО за счет повышения безопасности судоходства будет способствовать увеличению провозоспособности Севморпути и его экономической эффективности.

Однако для принятия решения о возможности и целесообразности создания (строительства) АМК АСО, по нашему мнению, представляется необходимым следующее:

1. Оценка и сравнение возможностей (и эффективности обеспечения аварийно-спасательных мероприятий в Арктической зоне РФ (прежде всего на трассе Севморпути) силами АСЦ МЧС во взаимодействии с МФАСС высокого ледового класса, предлагаемыми в настоящее время к постройке,

и с АМК АСО, с учетом приоритетности задач, поставленных в Стратегии.

2. Разработка имитационной модели функционирования системы аварийно-спасательного обеспечения для определения и сравнения эффективности работы и взаимодействия АСЦ МЧС с МФАСС и АМК АСО.

3. Рассмотрение в качестве альтернативы возможность использования, реакторной ГЭУ для АМК АСО, дислоцируемых в восточных морях Арктической зоны РФ.

4. Определение и сравнение объемов затрат на строительство и содержание рассматриваемых МФАСС и АМК АСО, а также определение источников и схем их финансирования.

6. Оценка ожидаемого социально-экономического эффекта от создания и использования АМК АСО как одного из элементов перспективных технологий предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в Арктике. ■

Интерес судостроителей к двухступенчатым лопастным движителям остается высоким с момента изобретения гребного винта. Он обусловлен, прежде всего, более высокой гидродинамической эффективностью таких движителей по сравнению с одноступенчатыми движителями благодаря утилизации энергии закрученной струи за первой ступенью движителя. В зависимости от вида двухступенчатой лопастной системы это преимущество выражается в диапазоне 4–12% энергосбережения. Экспериментальные гидродинамические исследования (Experimental Fluid Dynamics, EFD) двухступенчатых лопастных движителей как в прошлом, так и в настоящем времени являются наиболее надежным источником информации о гидродинамических свойствах предлагаемых изобретателями конструкций.

Двухступенчатые лопастные движители можно классифицировать по штатным режимам работы их лопастей:

- лопасти передней и задней ступеней движителя работают в реактивном режиме (это соосные гребные винты противоположного вращения, в том числе в составе гибридных движителей, и гребные винты-танделы);
- передняя ступень движителя работает в реактивном режиме, а задняя может работать как реактивным, так и в активном режиме;
- одна из ступеней движителя работает в реактивном режиме, а другая в активном, т.е. без передачи мощности (это, например, гребной винт и закручивающее поток лопастное устройство, установленное перед ним, или гребной винт и контрпропеллер за ним).

СООСНЫЕ ГРЕБНЫЕ ВИНТЫ

Первые публикации об экспериментальных исследованиях соосных гребных винтов противоположного вращения (СГВ) появились в 60-х гг. прошлого столетия [1, 2]. Наиболее полно объем и результаты модельных испытаний отражены в работе [2]. Исследования были завершены в Нидерландском опытовом бассейне (Netherland Ship Model Basin, NSMB, Wageningen) в 1968 г. (рис. 1). В рамках этих исследований специалистами NSMB было спроектировано пять пар СГВ из условия равной мощности на каждом из винтов пары и суммарного дискового отношения $(A_E/A_0)_\Sigma \approx 1,0$ каждой пары, с числом лопастей переднего гребного винта $z_1 = 4$ и заднего – $z_2 = 5$.

Гидродинамические испытания спроектированных СГВ включали:

- испытания в свободной воде в опытовом бассейне;
- самоходные испытания моделей танкера и грузового судна с СГВ (с замером вибрации при внешнем подводе заднего гребного винта);

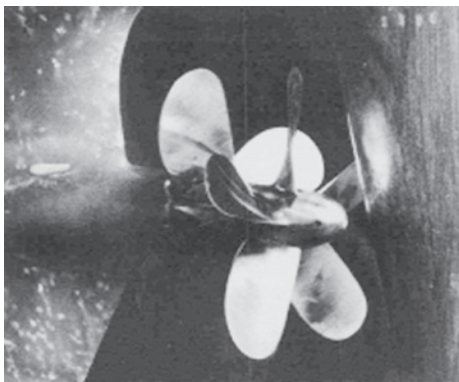


Рис. 1. Модель судна с СГВ в NSMB [2]

СООСНЫЕ ГРЕБНЫЕ ВИНТЫ И ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ ЛОПАСТНЫЕ ДВИЖИТЕЛИ

А.Р. Тогуняц, канд. техн. наук, инженер,

С.Л. Анчиков, зам. ген. директора,

АО «Научно-производственное предприятие «Морская техника»,

Л.И. Вишневский, д-р техн. наук, проф., гл. научный сотрудник ФГУП

«Крыловский государственный научный центр»

контакт. тел. (812) 3272802, +7(921) 337 2652

- кавитационные испытания в кавитационной трубе с моделированием набегающего неравномерного потока.

Для сравнения были выполнены самоходные испытания тех же моделей судов с одиночными гребными винтами ($A_E/A_0 \approx 0,62$, $z = 4$). Испытания показали, что при использовании СГВ пропульсивный коэффициент (в сравнении с одиночным гребным винтом) увеличился у танкера в грузу на $\approx 4,5\%$, в балласте на $\approx 8\%$, а у грузового судна в грузу на $\approx 6,3\%$ [2]. Следует отметить, что при анализе результатов самоходных испытаний авторы работы [2] не учитывали отличие в дисковых отношениях сравниваемых лопастных движителей. Уменьшение дискового отношения одиночного гребного винта A_E/A_0 на 0,1 по сравнению с $(A_E/A_0)_\Sigma$ приводит к потере преимущества в КПД приблизительно на 1,5% [3]. В рассматриваемом случае $(A_E/A_0)_\Sigma > A_E/A_0$, поэтому выявленное в исследованиях преимущество СГВ перед одиночными гребными винтами по гидродинамической эффективности можно считать заниженным. Необходимо отметить, что пропульсивные качества судов сравнивались при одинаковых оборотах СГВ и одиночных гребных винтов (при их разных диаметрах), что также занижает преимущества СГВ по пропульсивным качествам.

Кроме упомянутой выше серии СГВ NSMB [2] в 60-е гг. в Швеции были разработаны СГВ серии Х.Лингрена [4]. Исследования проводились в Шведском государственном кораблестроительном экспериментальном бассейне (The Swedish State Shipbuilding Experimental Tank) и заключались в испытаниях в свободной воде.

В 90-е гг. началось использование СГВ в составе движительно-рулевых колонок (ДРК) с размещением гребного электродвигателя в гондоле ДРК (electric drive podded propulsion), что вызвало необходимость проведения модельных гидродинамических исследований этого типа движителя по оптимизации его элементов. Примером таких исследований являются модельные испытания, выполненные в опытовом бассейне Кардерокского подразделения Военно-морского центра США (Naval Surface Warfare Center, Carderock Division, NSWCCD) [5]. Были исследованы ДРК с гондолами различных конфигураций, в том числе и ДРК с тянущими СГВ (рис. 2).

Известно об экспериментальных исследованиях СГВ, выполненных в Южной Корее [6], в опытовом бассейне Морс-

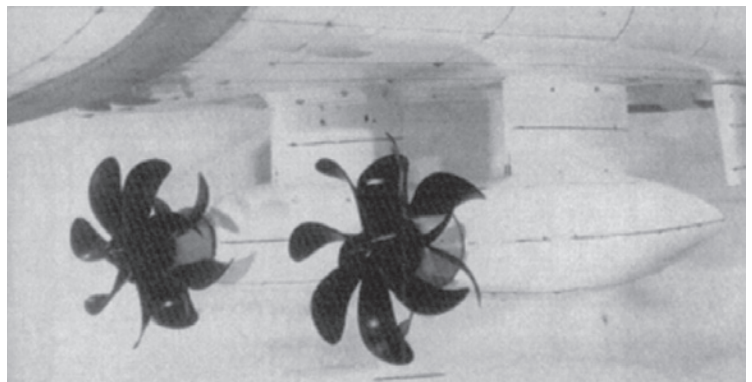


Рис. 2. Модель судна с СГВ в опытовом бассейне NSWCCD [5]

кого исследовательского института фирмы Hyundai Heavy Industries (towing tank of Hyundai Maritime Research Institute, HMRI). Они включали сравнительные самоходные испытания модели контейнеровоза (М 1:42.06) с обычным одиночным гребным винтом ($z = 6$, диаметр натурального гребного винта $D = 9,1\text{ м}$) и несколькими вариантами СГВ (число лопастей переднего гребного винта $z_1 = 5$, заднего $z_2 = 4$), рис. 3.

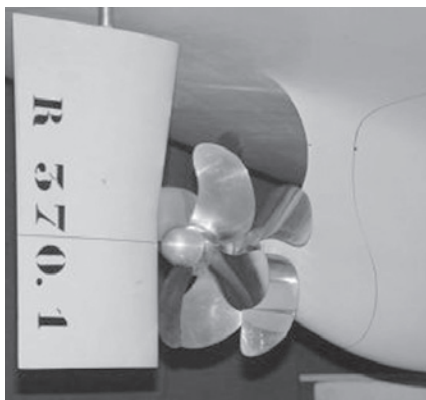


Рис. 3. Модель контейнеровоза с СГВ в опытовом бассейне HMRI [6]

Испытания были выполнены при равных диаметрах моделей одиночного гребного винта и СГВ (переднего гребного винта). Гребные винты соосной пары проектировались с учетом радиального распределения продольной скорости за корпусом судна в районе плоскости диска гребных винтов. Распределение скорости определялось по замерам, выполненным лазерным доплеровским измерителем скорости (Laser Doppler Velocimetry, LDV). Увеличение пропульсивного коэффициента от применения СГВ в зависимости от варианта их геометрии составило 12–17%.

С развитием методов численного эксперимента в области гидродинамики (Computational Fluid Dynamics, CFD) появилась необходимость сравнения результатов расчетов по CFD с данными, полученными в рамках модельного эксперимента (Experimental Fluid Dynamics, EFD). Результаты такого сравнения приведены в работе [7]. Часть EFD обеспечивалась испытаниями в кавитационной трубе Женевского университета. В качестве основы экспериментальной установки СГВ была использована движительно-рулевая колонка от подвешного мотора (рис. 4).

Модели для эксперимента (табл. 1) были спроектированы с учетом полей скоростей в дисках гребных винтов (обусловленных их взаимным влиянием), вычисленных по теории несущей линии, с последующим введением поправок по теории несущей поверхности.

Таблица 1
Характеристики СГВ, испытанных в кавитационной трубе Женевского университета

Характеристика	Передний ГВ	Задний ГВ
Диаметр, м	0,351	0,339
Дисковое отношение A_E/A_0	0,58	0,52
Число лопастей	4	3

В ходе эксперимента измерялись суммарный упор и момент СГВ, момент на валу заднего гребного винта, частота вращения СГВ и скорость набегающего потока. Сокращенный перечень измеряемых параметров не помешал итальянским специалистам сравнить результаты EFD и CFD. К сожалению, в работе [7] приводится только общее заключение о хорошем совпадении результатов, без их конкретных значений.

Идея комбинации традиционной компоновки гребного винта за корпусом судна с установкой за ним гребного винта ДРК противоположного вращения, вызвала необходи-



Рис. 4. Модель СГВ в кавитационной трубе Женевского университета (University of Genoa Cavitation Tunnel) [7]

мость гидродинамических исследований это типа СГВ. Такой движитель получил название гибридного с СГВ (Hybrid Contra-Rotating Shaft Pod Propulsor, HCRSP propulsor). Для его реализации на паромах «Наманасу» и «Акашия» (построены на верфи Mitsubishi Heavy Industries в 2004 г.) были выполнены обширные модельные исследования [8]. Испытания моделей СГВ проходили в кавитационном бассейне (Depressurized Towing Tank) Maritime Research Institute Netherlands (MARIN) в Вагенингене (Нидерланды).

Высокая эффективность HCRSP определила их широкое применение, и в 2014 г. Международная конференция опытовых бассейнов (International Towing Tank Conference, ITTC) с целью повышения точности модельного эксперимента с HCRSP и придания ему единообразия в различных опытовых бассейнах мира разработала соответствующую методику [9, 10]. Анализируя многочисленные конструктивные схемы HCRSP, ITTC отнесла их к движителям с высоким взаимным влиянием (high interaction group). Модельные испытания HCRSP, согласно [10], должны включать как испытания в свободной воде, так и самоходные испытания. При этом испытания в свободной воде по методике [10] предусматривают пять конфигураций установок (режимы А, В, С, D, E), рис. 5. При

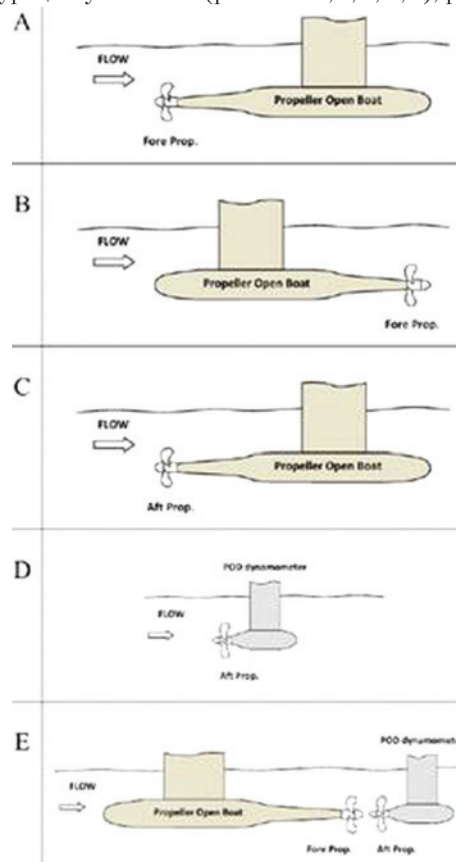


Рис. 5. Режимы испытаний HCRSP в свободной воде по методике ITTC [10]

этом режим Е обязательный, а режимы А и В – настоятельно рекомендованные (для корректировки на попутный поток данных на режиме Е). Режимы С и D являются источником данных по взаимодействию гондолы ДРК и заднего гребного винта, а также рассматриваются как дополнительная информация для проектирования гребных винтов. Измерения сопротивления воды движению судна и самоходные испытания (рис. 6) выполняются согласно существующим процедурам и не имеют особенностей.

Важным дополнением к обычной методике являются самоходные испытания с различным отношением частот вращения переднего и заднего гребных винтов, благодаря чему определяется оптимальный баланс мощностей между передним и задним гребными винтами движителя [10].

А и С – обычные испытания в свободной воде переднего и заднего гребных винтов; D – обычное испытание заднего гребного как винта ДРК; В – испытание переднего гребного винта для определения попутного потока при испытаниях Е (сравниваются результаты испытаний А и В); Е – испытания HCRSP.

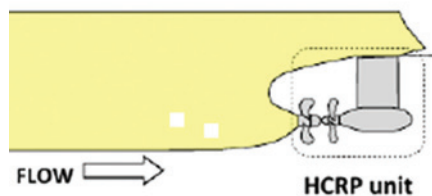


Рис. 6. Схема самоходных модельных испытаний (при рассмотрении HCRSP в качестве одного движителя)

В отечественной практике экспериментальные исследования СГВ для гражданского судостроения начались с работ Е.Н. Воеводской и В.К. Турбала, опубликованных в 1975 и 1977 гг. [11, 12, 13]. Исследования выполнялись в кавитационной трубе и опытовом бассейне ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. По методу, предложенному Е.Н. Воеводской [11], была спроектирована серия СГВ из четырех пар винтов, а также две пары СГВ с уменьшенным и увеличенным дисковым отношением A_E/A_0 . Все СГВ имели числа лопастей $z_1 = z_2 = 4$ (табл. 2).

В кавитационной трубе были исследованы степень поджатия струи за передним гребным винтом и кавитационные характеристики СГВ, включая начальные формы кавитации, измерялись суммарные значения упора и момента комплекса. В опытовом бассейне на установке свободной воды гидродинамические характеристики определялись отдельно для переднего и заднего гребных винтов. Сопоставление экспериментальных и расчетных значений упоров комплексов показало их хорошее совпадение: в диапазоне нагрузок $0,6 < C_T < 1,4$ расхождение не превышало 2% [11]. Сравнение гидродинамической эффективности СГВ с одиночным гребным винтом (с дисковым отношением $A_E/A_0 = 1,0$) при равных диаметрах, показало, что СГВ имеют на 10–12% более высокий КПД во всем диапазоне исследованных нагрузок ($0,6 < C_T < 5,0$).

Исследования гидродинамической эффективности СГВ в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова были продолжены в рамках

сравнительных самоходных испытаний в опытовом бассейне на четырех моделях транспортных судов (два одновальных судна и два двухвальных) [13]. Как и при испытаниях в свободной воде, сравнение СГВ по гидродинамической эффективности выполнялось с одиночными гребными винтами. Двухвальные варианты судов с одиночными винтами сравнивались с судами с СГВ при их установке в диаметральной плоскости, т. е. их обводы менялись при установке СГВ на одновальное. По экономии мощности при установке СГВ вместо одиночных гребных винтов были получены следующие результаты (при оптимальной частоте вращения СГВ) [13]:

- одновальное сухогрузное судно (мощность 11 600 л.с.) – экономия 19%;
- одновальное контейнерное судно (мощность 50 000 л.с.) – экономия 19%;
- двухвальное контейнерное судно (мощность $2 \times 25\,000$ л.с.) – экономия 27%;
- быстроходное двухвальное контейнерное судно (мощность $2 \times 50\,000$ л.с.) – экономия 17%.

Для одновальных судов результаты получены для одинаковых диаметров одиночных гребных винтов и СГВ. Для двухвальных судов при анализе результатов следует учитывать некоторые дополнительные факторы. Диаметры СГВ превосходили диаметры одиночных гребных винтов (на 14% и на 17% для быстроходного судна). Этот фактор благоприятно сказался на КПД СГВ. Негативное влияние на КПД оказал увеличившийся попутный поток (так как возросла нагрузка). Однако благоприятное влияние изменения попутного потока и засасывания было преобладающим, и пропульсивный КПД судов с СГВ, расположенных в диаметральной плоскости, оказался значительно выше. Положительную роль сыграло и уменьшение сопротивления судов при переходе от двухвального варианта к одновальному.

Значительное расхождение в экономии мощности для двухвальных судов (27% и 17%) авторы работы [13] объяснили недостаточной обработкой обводов при переходе к одновальному варианту быстроходного контейнеровоза с СГВ.

Для исследования кавитационных характеристик СГВ для скоростных судов в ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова была создана специальная экспериментальная установка в средней кавитационной трубе (СКТ) [14].

В последние два десятилетия учеными Крыловского государственного научного центра (КГНЦ) было уделено значительное внимание исследованиям гидродинамики гибридного движителя с СГВ (HCRSP propulsor) [3, 15, 16]. В частности, специалисты КГНЦ с использованием экспериментальных данных по заказу фирмы АВВ принимали участие в проектировании СГВ паромов, построенных на верфи компании Mitsubishi Heavy Industries [3]. Испытания проводились как в кавитационной трубе специальных движителей (КТСД) [17], так и в опытовом бассейне КГНЦ (в соответствии с рекомендациями ИТТС [10]). Установка КТСД оснащена двумя валами, смонтированными с выходом на рабочий участок с противоположных сторон контура трубы с автономными приводами. Такая компоновка исключает сложную конструкцию валопровода типа вал в валу и позволяет независимо задавать частоту

Таблица 2

Геометрические элементы моделей СГВ Е.Н. Воеводской

Диаметр D_1 , М	Диаметр D_2 , М	Шаговое отношение P/D_1 на $r/R_1=0,7$	Шаговое отношение P/D_2 на $r/R_2=0,7$	A_E/A_0 , передний винт	A_E/A_0 , задний винт
0,220	0,200	0,93	1,15	0,575	0,545
0,220	0,202	1,12	1,31	0,575	0,545
0,220	0,204	1,32	1,52	0,575	0,545
0,220	0,205	1,51	1,67	0,575	0,545
0,220	0,204	1,33	1,49	0,350	0,330
0,220	0,204	1,32	1,48	0,900	0,860

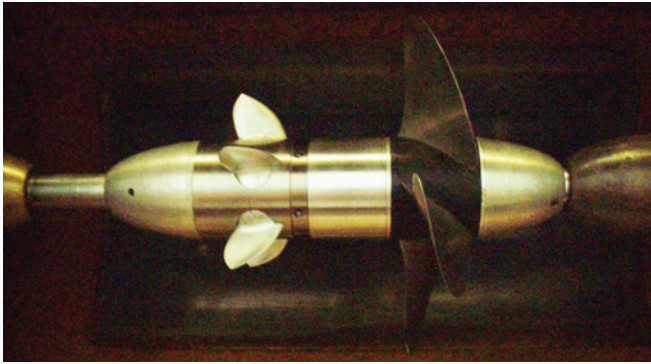


Рис. 7. Двухступенчатый лопастной движитель в рабочем участке КТСД КГНЦ [18]

вращения гребных винтов (рис. 7). Также по отдельности в КТСД определялись упоры и моменты на переднем и заднем гребных винтах. Испытания в КТСД включали исследование кавитационных характеристик СГВ как по начальным формам кавитации, так и по ее второй стадии.

Рассматривалась возможность применения СГВ и на судах ледового плавания. Ледовые нагрузки на СГВ исследовались в ледовом бассейне КГНЦ. «Передний винт располагался на специально разработанной установке, представляющей собой корпус с ледокольной формой носовой оконечности, позволяющей выламывать льдины таким образом, чтобы они, проходя под днищем корпуса установки, попадали на исследуемую систему гребных винтов. В дополнение к ней для обеспечения работы был использован внешний подвод заднего гребного винта, размещенного на установке свободной воды» [19]. Масштаб моделей СГВ 1:30 ($D_1 = 0,228$ м, $D_2 = 0,1814$ м). Из приведенного описания следует, что схема испытаний также соответствовала рекомендациям ИТТС для гибридных движителей с СГВ [10].

К соосным винтам относится и конструкция гребного винта-тандем. Она представляет собой два соосно расположенных гребных винта одинакового вращения. Эта конструкция применяется, если движитель работает при большой нагрузке, когда избежать второй стадии кавитации за счет увеличения дискового отношения одного гребного винта не представляется возможным. Расположение второго винта за передним винтом решает вопрос увеличения дискового отношения и, соответственно, предотвращает развитие второй стадии кавитации лопастной системы. Методика эксперимента с гребными винтами-тандем не отличается от методики для одиночных гребных винтов. Особенностью является увеличенная осевая протяженность ступицы, что не влияет на постановку эксперимента.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ДВУХСТУПЕНЧАТЫЙ ЛОПАСТНОЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Движитель, передняя ступень которого работает в реактивном режиме, а задняя может работать как реактивном, так и в активном режимах, получил название многофункциональный двухступенчатый лопастной движитель (МДЛД). Он исследовался в КТСД, а также в опытном бассейне КГНЦ [18], [20, 21]. Аналоги этого типа движителя за рубежом не исследовались. В КТСД на каждом из валов измерялись упоры и моменты гребного винта и контрпропеллера (рис. 7). Самоходные испытания в опытном бассейне (рис. 8) выполнялись по обычной методике. Таким образом, вклад контрпропеллера (задней ступени МДЛД, работающей в активном режиме, т. е. без подвода мощности) в повышение пропульсивного коэффициента определялся через улучшение тяговых характеристик МДЛД (увеличению коэффициента влияния корпуса) по сравнению с вариантом гребного винта без контрпропеллера. Модельные исследования гидродинамики МДЛД за корпусом

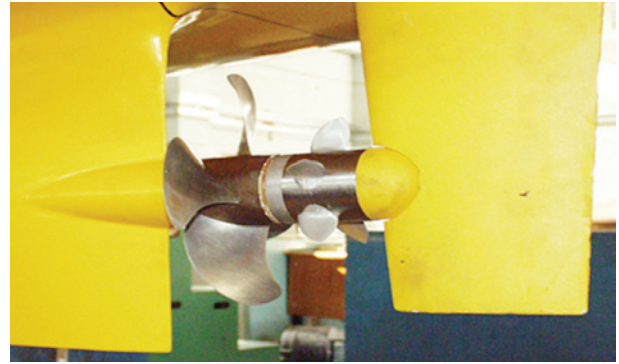


Рис. 8. Кормовая оконечность модели судна с МДЛД в доковой части опытового бассейна КГНЦ [21]

типового судна показали, что его применение обеспечивает энергосбережение 6,4 % на скорости полного хода [18, 21].

ЗАКРУЧИВАЮЩИЙ АППАРАТ И ГРЕБНОЙ ВИНТ, ГРЕБНОЙ ВИНТ И КОНТРПРОПЕЛЛЕР

Конструкции двухступенчатых движителей, одна из ступеней которых работает в реактивном режиме, а другая в активном (т. е. без передачи мощности), наиболее просты в исполнении и обеспечивают энергосбережение 4–5% (данные ИТТС [9]). Основные типы таких движителей были протестированы в опытном бассейне Гамбургского судостроительного исследовательского института (HSVA–Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH Hamburg) [22], а именно:

- движитель, включающий гребной винт и расположенный перед ним закручивающий аппарат (pre-swirl stator), разработанный корейской фирмой Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering Co.,Ltd, или DSME (рис. 9) [23];
- движитель, включающий гребной винт и расположенные за ним на руле крылышки (thrust fin), разработанный корейской фирмой Hyundai Heavy Industries Co.,Ltd, или ННІ (рис. 10) [24];



Рис. 9. Кормовая оконечность модели судна с движителем DSME с закручивающим аппаратом (DSME – pre-swirl stator), опытовый бассейн HSVA [22]

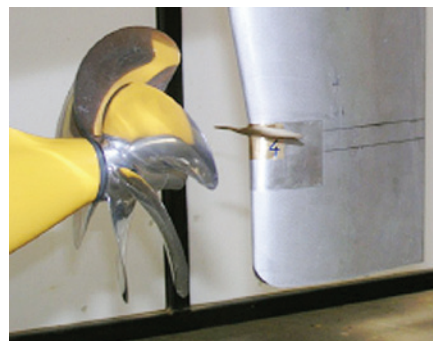


Рис. 10. Кормовая оконечность модели судна с движителем ННІ с расположенными на руле крылышками (ННІ – thrust fin), опытовый бассейн HSVA [22]

- движитель, включающий гребной винт и расположенный за ним контрпропеллер (post stator), разработанный корейской фирмой Samsung Heavy Industries Co.,Ltd , или SHI (рис. 11) [22].

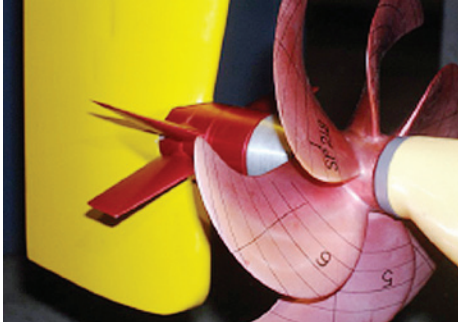


Рис. 11. Кормовая оконечность модели судна с движителем SHI с контрпропеллером (SHI – post stator), опытовый бассейн HSVА [22]

В работе [22] не содержится информации о гидродинамической эффективности испытанных движителей. Данные об энергосбережении при использовании перечисленных движителей представлены в отчете ИТТС [9]:

- DSME – pre-swirl stator обеспечивает 4%;
- НИИ – thrust- fin – 4%;
- SHI – post- stator – 4%.

Интересно отметить, что по гидродинамической эффективности контрпропеллеров, расположенных за гребным винтом (Post-swirl Devices, см. НИИ – thrust- fin и SHI – post- stator), имеются разночтения. Например, в работе [25] эффект по энергосбережению от их применения оценивается в 6%.

Модельные исследования гидродинамической эффективности двухступенчатых движителей, одна из ступеней которых работает в реактивном режиме, а другая в активном, начал КГНЦ в ходе проектирования рыболовных судов (траулеров) пр.13010 и пр.70670 соответственно в 1992 и 1993 гг. В обоих случаях в качестве движителя использовался гребной винт (первая ступень) в направляющей насадке с расположением контрпропеллера за ним (вторая ступень) (рис. 12, рис. 13).

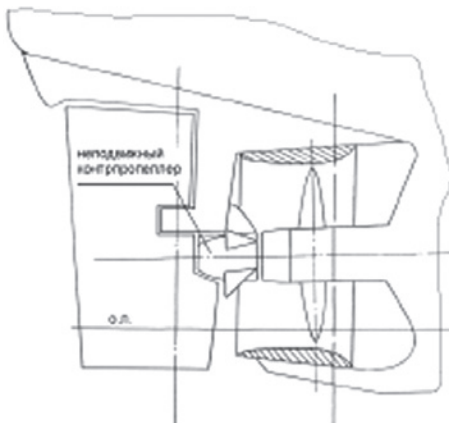


Рис. 12. Движитель траулера пр.13010 [26] с контрпропеллером по патенту Российской Федерации № 1636299 [27]

Отличительной особенностью контрпропеллера движителя траулера пр.13010 по патенту [27] является его ограниченный диаметр (см. рис. 12). В соответствии с формулой изобретения длина каждой и лопастей контрпропеллера не превышает половины длины лопасти гребного винта. Ограничение величины диаметра контрпропеллера обусловлено не только соображениями прочности конструкции, но и стремлением достижения максимального эффекта по энергосбережению. К периферии струи за гребным винтом тангенциальная со-

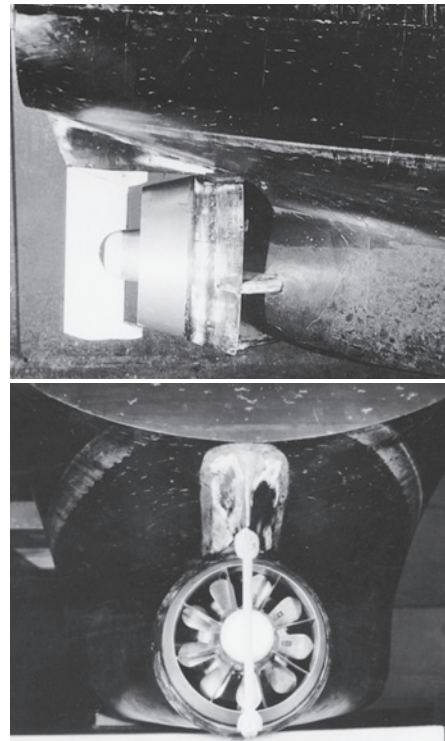


Рис. 13. Движитель траулера пр.70670 с контрпропеллером по патенту Российской Федерации № 1636299 [28], опытовый бассейн КГНЦ [26, 29]

ставляющая вызванной скорости уменьшается, и подъемная сила на элементах лопастей контрпропеллера будет столь незначительна, что результирующая сила будет направлена против тяги движителя. Таким образом, ограничение диаметра контрпропеллера устраняет из потока пассивные участки его лопастей.

Результаты сравнительных самоходных испытаний модели траулера пр.13010 показали, что применение контрпропеллера обеспечивает на режиме свободного хода энергосбережение в 7–8%, а на режиме траления – 4–5% [26, 30]. Существенное отличие в эффективности от ближайшего аналога (см. рис. 11, движитель конструкции SHI – post stator обеспечивает энергосбережение 4%) можно объяснить двумя факторами:

- гребной винт модели пр.13010 имел большое шаговое отношение ($P/D \approx 1,2$) а, следовательно, и значительные потери на закрутку потока, которые эффективно устранил контрпропеллер;
- диаметр контрпропеллера движителя SHI–post stator отличался завышенным значением (он составлял 0,8 от диаметра гребного винта [22]) и периферийная часть лопастей контрпропеллера оказалась пассивной, что снизило его гидродинамическую эффективность.

Модельные исследования траулера пр.70670 показали возможность создания полнообводных судов с хорошими ходовыми качествами, благодаря использованию движителя типа гребной винт в удлиненной насадке с установкой контрпропеллера в ее выходном сечении [26, 31].

Выводы

Результаты многолетних экспериментальных исследований гидродинамических характеристик двухступенчатых лопастных движителей в гидродинамических лабораториях и сопоставление с натурными данными показали, что методы модельного эксперимента (EFD) дают надежные данные для проектирования их лопастных систем и в целом движителей, отвечающих современным требованиям по энергосбережению и защите морской среды.

Дальнейшее совершенствование двухступенчатых лопастных движителей требует более тонких инструментальных средств проведения эксперимента. В частности, исследование гидродинамики соосных гребных винтов противоположного вращения с электрической передачей мощности предполагает раздельное регулирование частоты вращения гребных винтов и применение усовершенствованной методики модельных испытаний [32].

В настоящее время модельный эксперимент (EFD) желательнее рассматривать совместно с численным экспериментом в области гидродинамики (CFD). Их сочетание позволяет рациональнее планировать EFD, повысить его точность и получить в натуральных условиях наилучшие результаты по энергосбережению, вибрационным и акустическим характеристикам движителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Morgan W.B. The Design of Counterrotating Propellers Using Lerbs Theory// TSNAME. – 1960/ – Vol.68.
2. Manen J.D., Oosterveld. Model tests on contra-rotating propellers// International Shipbuilding Progress. –1968.– Vol.15. – №172. – P.401–417,
3. Пустошный А.В. Проблемы ходкости транспортных судов. – СПб.: ФГУП «КГНЦ», 2016.
4. Lindgren H., Johnsson C.A., Dyne G. Studies of the application of ducted and contrarotating propellers on merchant ships. – 7th Symposium on naval hydrodynamics, Roma, 1968.
5. Karafiath G., Lyons. Pod Propulsion Hydrodynamics-U.S. Navy Experience.– Conference on Fast Sea Transportation, FAST 99. Washington, USA, August 1999.
6. Keh-Sik Min, Boung-Jun Chang, Heung-Won Seo. Study on Contra-Rotating Propeller System Design and Full-Scale Performance Prediction Method//Internat. J. of Naval Architecture and Ocean Engineering. – 2009. – Vol.1. – Issue 1, September. – P.29–38.
7. Grassi D., Brizzolara S., Viviani M., Savio L., Caviglia S. Design and Analysis of Counter-Rotating Propellers—Comparison of Numerical and Experimental Results. – 9th International Conference on Hydrodynamics, Shanghai, China. October 2010.
8. Ueda N., Oshima A., Unseki T., Fujita S., Takeda S., Kitamura T. The First Hybrid CRP-POD Driven Fast ROPAX Ferry in the World. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. //Technical Rev. – 2004. – Vol. 41.– №.6 (Dec).
9. 27th ITTC Propulsion Committee Report Presentation, 2011–2014.
10. ITTC—Recommended Procedures and Guidelines. Hybrid Contra-Rotating Shaft Pod Propulsors Model Test. 7.5-02-03-01.6.2014.
11. Воеводская Е.Н. Вопросы проектирования и эффективность использования соосных гребных винтов на крупнотоннажных транспортных судах. – Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1975, вып. 285.
12. Турбал В.К. Применение движителей новых типов на морских транспортных судах. – Проблемы прикладной гидромеханики судна. – Л.: Судостроение, 1975.
13. Воеводская Е.Н., Турбал В.К. Перспективы повышения ходовых качеств быстроходных транспортных судов//Вопросы судостроения.–Сер.: Проектирование судов/ЦНИИ «Румб». – 1977. – Вып. 15.
14. С.В.Капранцев, Е.Н. Сыркин. Особенности проектирования соосных гребных винтов противоположного вращения для скоростных судов. – Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1996, вып.2(286).
15. Bushkovsky V.A., Frolova I.G., Kaprantsev S.V., Pustoshny A.V., Vasiljev A.V., Jakovlev A.J., Veikoheimo T. On the Design a Shafted Propeller Plus Electric Thruster Contra-rotating Propulsion Complex. – Proceeding First International Conference on Podded Propulsion (T-POD), Ньюкасл, Великобритания, 14–16 апреля 2004.
16. Яковлев А.Ю. Метод расчета и исследование движителей с гребными винтами противоположного вращения//Судостроение.– 2008.– №2.
17. Боруевич В.О., Русецкий А.А., Сазонов К.Е., Соловьёв И.А. Современные гидродинамические лаборатории. – СПб.: ФГУП «КГНЦ», 2019.
18. Вишневецкий Л.И., Тогуняц А.Р. Гидродинамика корабельных лопастных движителей. Инновационные решения. – СПб.: Реноме, 2020.
19. Добродеев А.А., Сазонов К.Е. Экспериментальные исследования взаимодействия соосной пары гребных винтов со льдом. – Тр. КГНЦ, 2013, вып. 73 (357).
20. Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И. Модельные исследования гидродинамических характеристик двухрежимного контрпропеллера на швартовах как средства активного управления//Морской вестник. – 2017.–№1(61). – С.11-13.
21. Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И. Двухступенчатый лопастной движитель – Тр. КГНЦ, 2019, т. 3, № 389, с. 83–94.
22. Hollenbach U., Reinholz O. Hydrodynamics Trends in Optimization Propulsion.– Second International Symposium on Marine Propulsors, SMP’11, Hamburg, Germany, 2011.
23. Lee J.T., Kim M.C., Suh J.C., Kim S.H., Choi J.K. Development of a Preswirl Stator-Propeller System for Improvement of Propulsion Efficiency: a Symmetric Stator Propulsion System.– Transaction of SNAK 29(4), Busan, Korea, 1992.
24. NN. (2005). Hyundai Thrust Fin Improving Propulsion Efficiency. Flyer, Hyundai Maritime Research Institute, Ulsan, Korea.
25. ABS Ship Energy Efficiency Measures. Advisory (www2.eagle.org)
26. Вишневецкий Л.И., Тогуняц А.Р. Корабельные лопастные движители: Новые технические решения, результаты исследований. – СПб: Судостроение, 2011.
27. Тогуняц А.Р. Судовой движительный комплекс. Патент № 1636299//Бюлл. Госкомизобретений «Открытия и изобретения».– 1991.– №11.
28. Анчиков С.Л., Волнушкин А.А., Данилов Е.С., Куликов С.В., Скоп А.С., Тогуняц А.Р. Кормовая оконечность судна. Патент № 2077445// Офиц. бюлл. изобретений ВНИИПИ «Изобретения».– 1997. – №11.
29. Anchikov S.L. Propulsion –Steering of a New Type//Brodogradnja. – 1995. – №1(43). – P.52–54.
30. Togunjac A.R., Kaprancev S.V. Projektiranje i modelsko ispitivanje djelotvornosti kontravijka//Brodogradnj. – 1994. – №42. – P.127–133.
31. Анчиков С.Л. Водометные движители. Вопросы проектирования. – СПб.: Реноме, 2021.
32. Тогуняц А.Р., Вишневецкий Л.И. Гидродинамические аспекты работы соосных гребных винтов противоположного вращения с электрической передачей мощности//Морской вестник.– 2018.– № 3 (67). ■

Российская судостроительная промышленность – одна из крупнейших машиностроительных отраслей, обладающая высоким научно-техническим и производственным потенциалом, влияющим на развитие технологий в смежных отраслях. Судостроительная отрасль РФ – это около 600 предприятий: более 90 проектных и научно-исследовательских организаций, 180 верфей и судоремонтных заводов и 310 предприятий, выпускающих комплектующие изделия. Большинство судостроительных предприятий сосредоточено в рамках Объединенной судостроительной корпорации (ОСК). Общее количество работников отечественного судостроения превышает 700 тыс. человек, что соответствует примерно 1% трудоспособного населения РФ. Доля судостроительной отрасли во внутреннем валовом продукте страны составляет, по разным оценкам, от 1,5 до 3,5%.

Аккумулируя в своей продукции достижения большого числа смежных отраслей (металлургии, машиностроения, электротехники, электроники и т. д.), судостроение в то же время практически определяет их развитие. Более того, создание одного рабочего места в судостроении влечет за собой появление четырех-пяти (по некоторым оценкам шести-семи) рабочих мест в смежных отраслях.

Возрождение отечественного судостроения сегодня происходит в основном благодаря активной роли государства, которое является с одной стороны прямым заказчиком его продукции, с другой создает благоприятные условия и преференции, стимулирующие как казенные, так и частные компании строить новый флот по отечественным проектам и на российских верфях. Российскому государству в определенной степени удалось создать и внедрить отдаленные достаточно эффективные механизмы, направленные на развитие отечественного судостроительного бизнеса и способствующие постепенному возвращению заказов на верфи страны. Важную роль в развитии российского судостроения играют принятые нормативные решения, которые разрабатываются и утверждаются с целью поддержки его динамичного развития. Речь идет, например, об утверждении критериев, направленных на повышение локализации производства судов в России, о поправках в Кодекс торгового мореплавания, устанавливающих виды работ, которые должны обеспечиваться исключительно судами отечественной постройки, и т. п.

Вместе с тем мы не должны забывать, что мировые лидеры судостроения более тридцати лет ускоренно двигались вперед, создавая и развивая свои судостроительные производства и техноло-

гии, а верфи России практически борются за свое выживание и только сравнительно недавно стали работать на перспективу в сфере гражданского судостроения.

В состав морского флота РФ входят транспортные суда (перевозка грузов и пассажиров), обеспечивающие (ледоколы, аварийно-спасательные суда, бункеровщики, сборщики льяльных вод, плашкоуты и др.), рыбопромысловые и научно-исследовательские суда.

Анализ организационных и технологических возможностей судостроительных производств и финансово-экономического состояния судовладельцев, транспортных и лизинговых компаний показывает сложность силами отечественных предприятий удовлетворить потребности внутреннего рынка в гражданских судах и специальной морской технике до 2035 г.

Так, в целях удовлетворения потребности внутреннего рынка необходимо построить около 250 морских транспортных судов и более 1500 транспортных судов класса «река-море», 1640 судов рыбопромыслового флота, более 250 судов и единиц морской техники вспомогательного и технического флотов, 90 научно-исследовательских судов, 24 ледоколов, а также около 150 судов и морской техники для освоения шельфовых месторождений.

Таким образом, несмотря на недостаточную загрузку отечественных судостроительных предприятий и учреждений (сегодня она в среднем не превышает 60–65%), количество заказов на строительство судов и морской техники в РФ ограничено возможностями потенциальных заказчиков, текущее финансово-экономическое состояние которых позволяет, по мнению специалистов, обеспечить заказами не более 18–20% потребности в морских транспортных судах, 6% в транспортных судах класса «река-море», 8% в судах рыбопромыслового флота, 43% во вспомогательных судах и судах технического флота, 11% в научно-исследовательских судах, 63% в ледоколах и до 40% в судах и мор-

ской технике для освоения шельфовых месторождений.

В части экспорта продукции гражданского судостроения основной задачей отечественной судостроительной промышленности в условиях перенасыщенного предложениями глобального мирового рынка является закрепление в традиционных для нас нишах, а также расширение географии поставок в первую очередь высокотехнологичных гражданских судов и образцов морской техники с высокой добавленной стоимостью.

В рамках намеченного и реализующегося в стране курса на локализацию и импортозамещение в период с 2010 по 2019 г. на российских верфях построено 914 судов и объектов морской техники, только в 2019 г. было построено 135 морских и речных судов, причем на российских верфях – 118 (под наблюдением РМРС – 56 ед., под наблюдением Российского речного регистра (РРР) – 79 ед.), а на иностранных верфях – всего 17 судов.

Вместе с тем в 2018 г. в общей сложности было построено 150 морских и речных судов (под наблюдением РМРС – 62 ед., под наблюдением РРР – 88 ед.), в том числе 114 на российских и 36 на иностранных верфях.

То есть количество судостроительных заказов, размещенных на отечественных верфях в 2019 г. увеличилось, по отношению к 2018 г. на 4% (до 118 ед.), что указывает на положительный эффект от реализуемой в России политики импортозамещения.

В 2019 г. под наблюдением РМРС на отечественных верфях было построено 41 судно, что на 12,2% больше, чем годом ранее (36 судов). На иностранных верфях было построено в 2019 г. 15 судов, что на 42,3% меньше, чем в 2018 г. (26 судов).

Под наблюдением РРР на отечественных верфях было построено 77 судов против 78 ед. годом ранее. Незначительное снижение темпов постройки судов под наблюдением РРР на российских верфях обусловлено переориентиро-

РАЗМЫШЛЕНИЯ О СОСТОЯНИИ И ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ГРАЖДАНСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ

ЧАСТЬ 1

О.В. Савченко, канд. техн. наук, ген. директор,
В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф.,
заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель,
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812) 415 6582

ванием заказов в пользу строительства морских и смешанного (река-море) плавания судов. На иностранных верфях под наблюдением РРР в 2019 г. было построено всего два судна, что на 80% меньше, чем в 2018 г. (10 судов).

По итогам 2020 г. наблюдался рост совокупной стоимости сданных судов и кораблей по сравнению с 2019 г. на 67%, до 229,5 млрд. руб. Совокупный тоннаж вырос на 59%, до 542 тыс. т. При этом количество сданных заказов сократилось в гражданском судостроении почти на 18% – до 62 ед., а в военном увеличилось на 18%, – до 32 кораблей.

В 2020 г. Россия вышла на лидирующие места в мире по объемам судостроения. Об этом свидетельствует рейтинг международного агентства Clarkson Research по итогам третьего квартала этого года. Российские судостроители вошли в тройку мировых лидеров впервые. Такие результаты были достигнуты благодаря количеству построенных гражданских судов, в том числе ледоколов.

фи стали выполнять все больше крупных проектов гражданского судостроения. При этом загрузка отечественных верфей гражданскими заказами постепенно увеличивается. Портфель текущих и запланированных к постройке судов сформирован в следующих сегментах:

- ледокольный флот,
- рыболовные суда,
- скоростные и круизные пассажирские суда,
- суда для плавания по внутренним водным путям,
- морская техника для освоения шельфа,
- научно-исследовательские суда различного назначения.

Морской транспортный флот, контролируемый российскими судоходными компаниями, по состоянию на 1.02.2020 г. составлял:

- флот судоходных компаний России, зарегистрированный под флагом России, – 1176 судов общим дедвейтом 7,7 млн. т;

1423 ед. общим дедвейтом 22,4 млн. т., из которых 65,7% тоннажа эксплуатируется под иностранными флагами. По сравнению с 2019 г. наблюдается незначительное увеличение количества и тоннажа судов морского транспортного флота: по количеству судов +2%, по дедвейту +3,0%.

Всего на начало 2020 г. в Российском международном реестре судов зарегистрировано 1454 судна суммарным дедвейтом 7,0 млн. т., из них морской транспортный флот насчитывает 771 судно общим дедвейтом 6,1 млн. т., за последние 10 лет, с момента принятия ФЗ-305, общий дедвейт таких судов увеличился более чем в 3,8 раза.

В целом, морской флот под флагом России условно можно разделить на три части:

- морские суда – 296 ед. общим дедвейтом 4,7 млн. т (26% по количеству и 64% по дедвейту);
- суда «река-море» плавания – 833 судна суммарным дедвейтом 2,5 млн. т. (74% по количеству и 36% по дедвейту);
- пассажирские суда – 47 ед.

Особенно заметно сокращается число судов «река-море» плавания. По мнению А. Егорова, «если в 2007 г. в классе РМРС было порядка 2500 грузовых судов «река-море», то на конец 2020 г. таких судов старых серий осталось лишь 1550, т.е. за 13 лет мы потеряли 1000 судов». В д 2020–2025 гг. с учетом выбытия и нового строительства количество сухогрузных судов сократится с 831 до 552, нефтеналивных – с 241 до 170. К 2025 г. потребуется порядка 107, а к 2030 г. – около 250 сухогрузов только одного проекта RSD59. Похожая картина наблюдается и в танкерном сегменте, где с учетом списания старого флота для его замещения необходимо 36 к 2025 г. и около 100 судов к 2030 г.

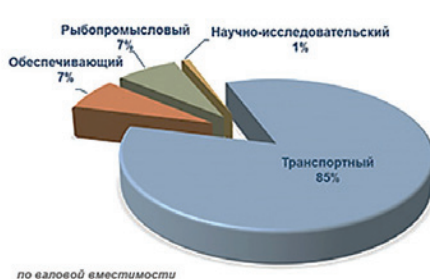
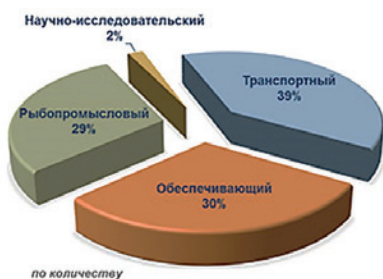
Проблема ускоренного строительства судов «река-море» плавания может решаться, например, в целях обеспечения регулярного сообщения по внутренним водным путям между субъектами Российской Федерации. Для ее достижения необходимо в первую очередь сформировать маршрутную сеть пассажирских и туристских перевозок, а также стимулирующие условия для строительства новых пассажирских судов, в том числе на альтернативных видах топлива, и создать транспортно-пересадочные узлы для обслуживания пассажиров.

На середину 2021 г. в стадии строительства на отечественных и зарубежных верфях под класс РМРС находилось 232 судна (см. таблицу).

Казалось бы, это серьезный успех отечественного судостроения. Однако



Структура строящихся и законтрактованных судов на конец 1-го квартала 2021 г.



Состав морского флота России по состоянию на июнь 2021 г.

В июне 2021 г. морской флот РФ насчитывал 1453 судна общим дедвейтом 23,2 млн. т., при этом структура флота существенно отличалась по количеству и валовой вместимости судов. По количеству судов на российский флаг приходилось 83%, на иностранный – 17%, по дедвейту это соотношение было 38% и 62% соответственно. При этом судов со сроком службы более 30 лет под флагом России эксплуатировалось 42% судов по тоннажу и 65% по количеству.

С определенной долей условности можно отметить, что отечественные вер-

– флот судоходных компаний России, зарегистрированный под иностранными флагами, – 247 судов общим дедвейтом 14,7 млн. т.

Данные о наличии флота судоходных компаний России, зарегистрированного под иностранными флагами, получены путем обработки информации из открытых и коммерческих источников (официальные сайты компаний, базы данных Equasis и Sea-Web). Общее количество судов морского транспортного флота, контролируемого российскими судоходными компаниями, по состоянию на начало 2020 г. составляло

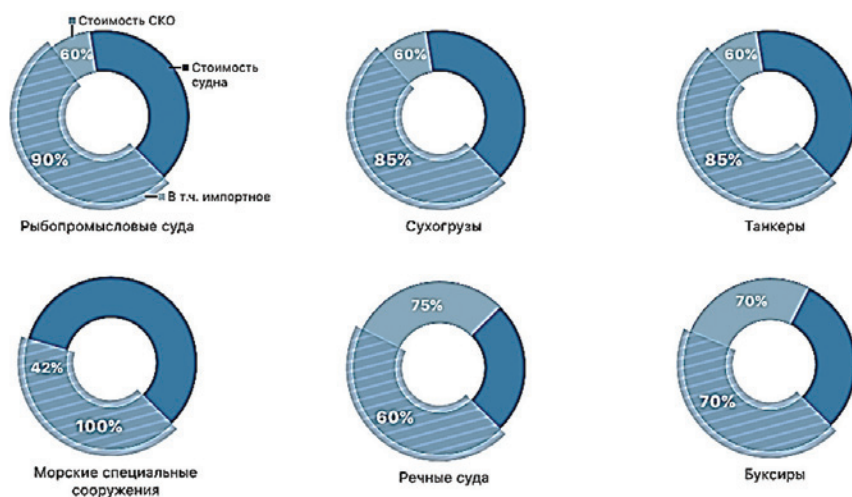
Номенклатура, проект, тип и назначение судов и специальных морских средств	Сдача до 2024 г., ед.
Морские транспортные суда	24
114 К	8
Танкер на СПГ (Афрамакс дедвейтом 114 тыс. т)	8
ALNGC173R	6
Арктический СПГ-танкер для проекта «Арктик СПГ 2» (вместимостью 172,6 тыс. куб. м, дедвейтом 81 тыс. т)	6
AST69K	2
Танкер-челнок (дедвейтом 69 тыс. т)	2
CNF11CPD (00300)	2
Автомобильный грузопассажирский паром (Ванино Хабаровский край – Холмск Сахалинская обл.)	2
CNF19M	1
Автомобильно-железнодорожный паром (Усть-Луга – Балтийск) на СПГ	1
CNF22	1
Грузопассажирский паром (транспортировка между морскими портами ДВФО)	1
MR-50	3
Танкер на СПГ (MR дедвейтом 51,1 тыс. т) для транспортировки ГК и нефтепродуктов, ледовый класс – 1В (Arc7)	3
NE-020.2 (PV24)	1
Грузопассажирский паром (Командорские острова – г. Северо-Курильск)	1
Промысловые суда	71
1701	2
Средний морозильный траулер	2
17050	2
Среднетоннажное НИС	2
170701	7
Морозильный траулер-процессор	7
03070	2
Среднее добывающее судно для ловли краба	2
03095	4
Средний морозильный траулер	4
03140	2
Среднее добывающее судно для ловли краба	2
03141	4
Среднее добывающее судно для ловли краба	4
04130 (MPC27)	1
Малый рыболовный сейнер	1
174610	3
Малый рыболовный траулер-сейнер	3
5670WSD	1
Большой морозильный траулер	1
5712LS	16
Живовозное судно для ловли краба	16
5712P	3
Краболов-процессор	3
GM 3.02	1
Морского траулер с кормовым тралением	1
ST-116XL (KMT02.2)	2
Морозильный траулер	2
ST-116XL-FOR (KMT02.1)	2
Морозильный траулер	2
ST-118-ATF (KMT01)	2
Средний морозильный траулер	2
ST-155L (MT1112XL)	4
Судно ярусного лова	4
ST-184 (KCP01)	5
Краболовное судно-процессор	5
ST-192RFC	6
Морозильный траулер-процессор	6
T40 В	2
Среднетоннажные рыбопромысловое судно	2
Служебные и вспомогательные суда и катера	40
Пр.123	2
Многофункциональное НИС для фундаментальных исследований в Мировом океане, включая Арктику и Антарктику	2
22220	2
Атомный ледокол (60 МВт)	2
Пр.00440	2
Морской буксир	2
00903	1
Ледостойкая самодвижущаяся платформа для исследования Арктики	1
Пр.04620 (Т3150-ЗД)	3
Портовый буксир	3
21900 M2	1
Дизельный ледокол (18 МВт)	1
3052	8
Обстановочное судно	8
BLV03	2
Лоцмейстерское судно	2
BLV04	2
Лоцмейстерское судно	2
HSV05.02	1
Гидрографическое лоцмейстерское судно класса Arc7	1
MPSV06	1
Аварийно-спасательное судно мощностью 7 МВт	1
MPSV06 M	1
Аварийно-спасательное судно мощностью 7 МВт	1
MPSV07	1
Аварийно-спасательное судно (4 МВт)	1

MPSV12	1
Буксир-спасатель	1
NE011	1
Противопожарный буксир-спасатель	1
NE025	5
Буксирно-спасательное судно ледового класса Arc 4	5
SDS18	1
Водолазное судно-катамаран	1
BP29	1
Ледокол-буксир для поддержания круглогодичной навигации на Москве-реке	1
E35.Г	2
Гидрографический катер	2
РЕГК.125	1
Буксирный теплоход толкач	1
TCK.395	1
Буксирный теплоход толкач	1
Суда и плавсредства для освоения шельфа	10
1959.19 (ЛСП «А»)	3
Бетонная морская платформа гравитационного типа с хранилищем СПГ на 687 тыс. м ³ (для 1-й очереди проекта Арктик СПГ-2)	1
Бетонная морская платформа гравитационного типа с хранилищем СПГ на 687 тыс. м ³ (для 2-й очереди проекта Арктик СПГ-2)	1
МЛСП (основание и верхнее строение) для месторождения «Каменномысское-море»	1
IBSV10022АН	4
Многофункциональное судно снабжения (Icebreaker 7)	4
Блок-кондуктор для бурения скважин с СПБУ для месторождения имени В.И. Грайфера	1
Бло-кондуктор для бурения скважин с СПБУ для месторождения имени В.И. Грайфера	1
Платформа с жилым модулем (масса 6000 т) для месторождения имени В.И. Грайфера	1
Платформа с жилым модулем (масса 6000 т) для месторождения имени В.И. Грайфера	1
Центральная технологическая платформа для сбора и подготовки продукции скважин для месторождения им. В.И. Грайфера	1
Центральная технологическая платформа для сбора и подготовки продукции скважин для месторождения им. В.И. Грайфера	1
Суда технического флота	17
03740	1
Контрольно-дозиметрический пост	1
3409 А	2
Несамоходный многочерпаковый шаландовый земснаряд	2
4395	2
Несамоходный землесос производительностью 700 куб. м/ч	2
93.159	2
Самоходный роторно-ковшовый земснаряд с роторным рыхлителем	1
Самоходный роторно-ковшовый земснаряд с фрезерным рыхлителем	1
93.159.1	2
Самоходный роторно-ковшовый земснаряд с роторным рыхлителем	1
Самоходный роторно-ковшовый земснаряд с фрезерным рыхлителем	1
RDB 66.65	2
Несамоходный дизельный земснаряд	2
RST38	2
Судно для сбора льяльных вод	2
ПК-400	1
Плавкран (г/п 400 т)	1
ПК-700	1
Плавкран (г/п 700 т)	1
Ц480 М2 рДА	1
Несамоходный дизельный земснаряд	1
Ц485Э	1
Несамоходный дизельный земснаряд	1
Транспортные суда смешанного и внутреннего плавания	34
00216 М	2
Танкер-химовоз	2
03770	1
Автопассажирский паром для организации переправы в Усть-Камчатском районе	1
11220	1
Среднемагистральный автомобильно-пассажирский экологический чистый паром на электроходе (переправа Балтийск – Балтийская коса)	1
1912 РВ	2
Грузопассажирская баржа (г/п 20 т)	2
212 РТ (Moneymaker)	3
Танкер-химовоз (корпус)	3
PV20S	5
Пассажирское судно вместимостью 200 чел. для перевозок в акватории Севастопольской бухты и в прибрежных р-нах п-ова Крым	5
PV300VD	1
Круизный лайнер	1
RDB 63.01	1
Сухогрузное судно	1
RSD49	1
Сухогрузное судно	1
RSD59	9
Сухогрузное судно	9
RSD60	1
Сухогрузное судно	1
RSD71	1
Сухогрузное судно	1
RST25	1
Танкер-химовоз	1
A45 – 90.2	2
Круизное судно (для маршрута по р. Енисей: Красноярск – Дудинка – Красноярск)	2
ПКС180	2
Круизное колесное пассажирское судно	2
ТО-1400	1
Самоходное нефтеналивное судно	1
Общий итог	196

судостроители, получив долгожданные гражданские контракты, столкнулись с новыми сложностями и трудно решаемыми задачами. Например, ключевыми проблемами отечественных судостроителей являются длительные сроки постройки судов и хроническая болезнь переноса сроков их сдачи. Не меньшее значение имеет крайне недопустимая закредитованность производств. Насущным вопросом для нас остается изменение тарифных ставок на комплектующие для локализации судового оборудования

Кроме этого, мы часто не учитываем, что верфь по своей сути – лишь интегратор решений проектантов и поставщиков, собирая судно из составляющих, определенных проектом и пожеланиями заказчика. Отечественные верфи никогда не смогут нормально работать, если у них нет серийной загрузки, так и отечественные производители компонентов не в состоянии создать более или менее конкурентное по цене и срокам поставки оборудование без гарантированных крупных серийных заказов. Получается замкнутый круг. Качественное оборудование появится ровно тогда, когда будут приняты либо строгие запретительные меры по использованию зарубежной техники, либо стимулирующие меры по поддержке отечественной. К примеру, все американские суда, работающие в своих территориальных водах, должны быть построены в Америке и только из американских комплектующих и материалов. Такой пример государственной политики США для нас имеет смысл и перспективы.

К настоящему моменту по заявлению руководства компании в ОСК созданы проекты судов, которые на 50% будут укомплектованы российским оборудованием.



Текущая ситуация на рынке отечественного комплектующего оборудования применительно к судам различного типа и назначения

Особенно важно, чтобы проблема локализации комплектующего судового оборудования касалась наиболее дорогих и сложных объектов, например, элементов судовых энергетических установок. Исследования, выполненные ФГУП «Крыловский государственный центр», свидетельствует, что таким оборудованием могут быть элементы пропульсивных установок, а также судовые электроэнергетические системы и системы управления. Научный центр с уверенностью говорит о готовности взять на себя ведущую роль в решении этих задач.

Можно обоснованно утверждать, что в РФ в настоящий момент крупносерийного строительства судов практически нет, а каждый заказчик хочет построить свое единственное и неповторимое судно по специально отобранному им проекту.

В реальности ситуация однозначна складывается так, что практически каждое гражданское судно независимо от его предназначения является головным, а это усложняет процесс строительства и влияет как на сроки, так и на стоимость постройки. Особенно важно подчеркнуть, что гражданское судостроение в отличие от военного кораблестроения – низкомаржинальная сфера, отечественные верфи начинают получать стабильную прибыль только на больших и длительных сериях достаточно крупных судов. Следовательно, строя в основном головные суда, отечественные верфи, как правило, копят убытки и ухудшают собственные финансовые показатели, что не дает им нормально развиваться: сокращать сроки постройки судов и наращивать мощности. При таком подходе без проектных и производственных ошибок не обойтись – строить мы будем, по-прежнему, дольше и дороже. Это справедливо практически для любой мелкосо-

рийной или единичной продукции. Нам необходимы унифицированные отечественные комплектующие единого мощностного ряда.

К сожалению, увеличение количества гражданских заказов в сложившихся условиях не способствует обновлению и модернизации судостроительных мощностей. В настоящее время более стабильно и уверенно на рынке работают в основном отечественные верфи, которые строят большие серии речного флота и суда смешанного «река-море» плавания.

В этих условиях ранее принятых мер государственной поддержки оказалось недостаточно для обновления производственных мощностей верфей, поэтому их подавляющее число не может проводить спланированную и комплексную модернизацию мощностей, ресурсов, как правило, хватает лишь на точечные, отдельные меры.

При этом из-за отсутствия ограничений на заказы за рубежом конкурентами верфей России являются новейшие, зачастую недавно построенные высокоразвитые производства, аккумулирующие у себя заказы всего мира и обладающие за счет этого значительными ресурсами, пользующиеся прямой государственной поддержкой и преференциями (речь идет о верфях Китая, Турции, Ю. Кореи).

Кроме этого, в настоящее время почти все верфи страны после резкого роста числа заказов (в первую очередь на рыбопромысловые суда) столкнулись с острым дефицитом квалифицированных производственных рабочих, восполнить который за короткое время просто неоткуда, на это потребуется много времени.

В мире судостроительный бизнес устроен таким образом, что для его развития необходимо активное, а порой и агрессивное государственное вмешательство. Особенно остро эта проблема стоит сегодня. Во многих странах существуют и приняты меры прямой и косвенной государственной поддержки, которые в конечном счете компенсируют более 20% стоимости судна. Например, судостроительные предприятия Южной Кореи и Китая получают государственные дотации, что позволяет им продавать свои суда дешевле и, соответственно, обеспечивает конкурентное преимущество на мировом рынке. К таким мерам относятся:

- льготное кредитование,
- прямая докапитализация верфей,
- компенсация части стоимости судна при поставке на экспорт,
- компенсация части накладных расходов и т. п. ■

Продолжение следует

В конце 1958 г. начались швартовные испытания ледокола «Ленин» пр. 92 – первого в мире надводного судна с атомной энергетической установкой (АЭУ). Шестидесятилетний опыт создания и эксплуатации атомных ледоколов позволяет говорить о несовершенстве отдельных элементов и конструкций ледокола «Ленин», что было обусловлено полным отсутствием тогда такого опыта. Заметим, что лишь в 1955 г. в Ленинграде в ААНИИ был построен первый в мире опытовый ледовый бассейн, предназначенный для изучения взаимодействия корпуса и движителя со льдом, а методы отработки формы корпуса ледокола находились на начальном этапе создания.

Появление ледокола с ядерной энергетической установкой кардинальным образом повлияло на стратегию и тактику ледового плавания и его аварийность. Так, до вступления в строй ледокола «Ленин» были раздавлены льдами т/х «Казахстан» (1951 г.), т/х «Кемь» (1958 г.), т/х «Моссовет» (1959 г.), получили ледовые повреждения целый ряд судов. В 1965 г. в восточном секторе Арктики погибло во льдах транспортное судно «Витимлес», следовавшее под проводкой дизель-электрического ледокола «Москва».

Большая мощность атомных ледоколов и практически неограниченная по топливу автономность их плавания позволили организовать в 70-х гг. XX в. сначала продленную, а затем круглогодичную навигацию в западном секторе советской Арктики.

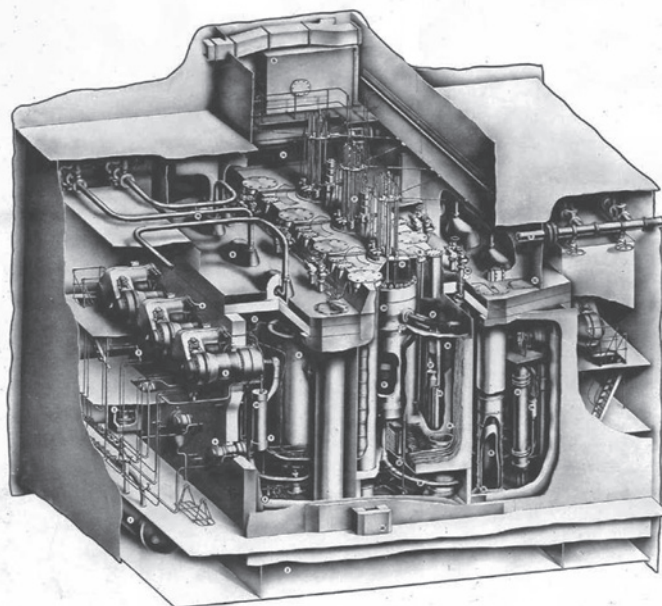
После шести навигаций в 1966 г. ледокол «Ленин» был поставлен на модернизацию и капитальный ремонт, совмещенный с заменой паропроизводительной установки (ППУ), которая к тому времени в значительной части устарела. Ее основные идеи были сформулированы в начале 50-х гг., когда опыт разработки судовых установок был еще недостаточен. В результате всестороннего анализа было признано целесообразным установить на ледоколе новую атомную ППУ, спроектированную к тому времени для более мощных ледоколов. Постановлением Совета Министров СССР от 18 февраля 1967 г. было принято решение о замене атомной установки ОК-150 на установку типа ОК-900.

Разработка проекта была поручена ЦКБ «Айсберг». Руководителем всех работ был назначен начальник ЦКБ и главный конструктор ледокола «Ленин» В.И. Неганов.

Удалению АЭУ из корпуса ледокола предшествовали научно-исследовательские и конструкторские разработки, нацеленные на решение комплекса инновационных и нетрадиционных для судостроения задач как теоретическо-

АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «ЛЕНИН»: НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЦЕССЕ РЕМОНТА И МОДЕРНИЗАЦИИ

*Б.П. Иванов, д-р. техн. наук, проф. СПбГМТУ,
В.А. Старшинов, гл. инженер ЦКБ «Айсберг» (1979–1995),
контакт. тел. + 7 (911) 091 1652*



Общий вид паропроизводительной установки атомного ледокола «Ленин»

го, так и производственного характера. Демонтаж АЭУ осложнялся тяжелой радиационной обстановкой, которая обострялась при вскрытии контуров реакторной установки, подвергшихся значительному загрязнению за шестилетнюю эксплуатацию. В этой связи общепринятый подетальный демонтаж оборудования был признан неприемлемым, так как возникла угроза получения персоналом численностью ок. 6500 человек, предельно допустимой годовой нормы облучения.

Большой вес АЭУ с биологической защитой и ее конструктивное исполне-

ние не позволяли удалить через палубу наверх или через борт на берег или плавсредство. После всестороннего изучения нескольких вариантов выгрузки реакторного отсека детальной проработке подверглись два из них:

- агрегатный демонтаж с использованием понтона грузоподъемностью 4000 – 4500 т;
- свободный сброс в месте захоронения с применением кумулятивных зарядов.

Первый вариант удовлетворял требованиям радиационной безопасности и снижал затраты по сравнению с подетальным демонтажем. Однако для его исполнения затраты средств и особенно времени были весьма значительными. Поэтому для разработки был принят второй вариант удаления отсека способом свободного сброса (авторское свидетельство №70189, заявка 9889/26-25 от 18 ноября 1967 г.) через днище. При этом учитывалась желательность выгрузки вместе с отсеком тех конструкций и оборудования, которые имели радиоактивные эксплуатационные загрязнения и не могли быть использованы в компоновочных решениях новой атомной установки. К отсеку АППУ при этом добавлялись помещения СУЗ реакторов, датчиков теплоконтроля, креповых насосов и часть двойного дна с находившимися здесь сточными цистернами активных вод. Вес выгружае-



В.И. Неганов

мого комплекса стал достигать 3700 т, а габариты – 22,5×13×12 м.

Работы планировалось провести в пять этапов:

1) подготовительные работы по отсоединению выгружаемого комплекса от корпуса ледокола при его стоянке у береговой базы в Мурманске;

2) буксировка ледокола к месту выгрузки отсека;

3) работы на ледоколе в районе выгрузки отсека:

- подводная электрорезка днища водолазами;
- дистанционная газовая резка нижних участков переборок;
- резка верхних участков переборок кумулятивными зарядами и выгрузка отсека с одновременным его захоронением в море;

4) обратная буксировка ледокола в порт Мурманск;

5) постановка ледокола в док для монтажа новых днищевых секций.

Демонтажные работы первого этапа начались 19 апреля 1967 г., и 2 сентября ледокол был готов к буксировке в район выгрузки отсека.

Основной проблемой для осуществления свободного сброса отсека стало одновременное, практически мгновенное отсоединение его от удерживающих корпусных конструкций.

Демонтажные работы третьего этапа в районе выгрузки отсека продолжались с 8 по 19 сентября 1967 г. Ледокол при этом находился над местом захоронения. Отсоединение от корпуса ледокола части днища, подлежащего удалению вместе с атомной установкой, проводилось водолазами с использованием беседки, заводимой под корпус ледокола.

Подводная электрорезка днищевой обшивки периметром около 60 м была выполнена в течение двух суток.

Среднюю часть силовых продольных переборок разрезали вручную, нижнюю – с помощью дистанционного устройства. Дистанционная резка обеспечивала безопасность персонала, выполнявшего эту операцию. Резка нижней части силовой переборки была наиболее ответственным моментом, предшествовавшим подрыву зарядов, так как отсек удерживался в корпусе верхними участками четырех силовых переборок высотой около 2,3 м каждая, предназначенными для подрыва кумулятивными зарядами. В случае наличия внутренних трещин хотя бы в одной из переемычек могла возникнуть угроза нарушения прочности переемычки, и отсек массой 3700 т из-за перекоса расклинивался бы в корпусе ледокола. Поэтому были предусмотрены верхние и нижние упоры, препятствующие перекосу отсека, специальное спусковое устройство, направляющее отсек при выходе

его из корпуса, а для одновременного срабатывания всех кумулятивных зарядов каждый взрыватель был снабжен несколькими схемами электропитания.

Такая технология исключала случайности, вызывающие аварийные ситуации, и обеспечивала выход отсека из корпуса ледокола.

В момент выгрузки перед ледоколом находилась плавучая база «Лепсе». По буксирному тросу от нее на ледокол были проложены электрокабели резервного питания на случай остановки РДГ ледокола «Ленин» при возможном резком его всплытии после отсоединения отсека от корпуса.

По корме ледокола находилось спасательное судно «Алтай-1», соединенное буксиром с ледоколом для его буксировки при необходимости на мелкое место.

Персонал, свободный от вахт и аварийного расписания, был переведен на «Лепсе». В помещениях ледокола, смежных с центральным отсеком, были организованы посты, оборудованные аварийно-спасательным имуществом на случай нарушения водонепроницаемости главных переборок от взрыва кумулятивных зарядов и гидродинамического давления воды при выходе отсека из корпуса ледокола. Необходимые тренировки по аварийному расписанию проводились при буксировке ледокола в район выгрузки отсека.

Осуществленный проект выгрузки реакторного отсека выполнен впервые в практике мирового судостроения в рамках уникальной по своей оригинальности и инженерной смелости технологии – применении энергии кумулятивного взрыва (удлиненный кумулятивный заряд 40-УКЗ-40). Заряды представляли собой металлическую трубку диаметром около 36 мм, начиненную взрывчатым веществом. На полотне каждой из четырех оставшихся переборок монтировался заряд длиной 2300 мм. Кроме того, заряды длиной по 1100 мм были установлены на четырех кницах, раскреплявших отсек в горизонтальной плоскости. После подрыва зарядов, момент которого определялся звуком взрыва, через две-три секунды (инерция покоя) отсек начал движение вниз, выходя из корпуса ледокола. Ледокол плавно всплыл, РДГ продолжал работать, обеспечивая электроэнергией соответствующих потребителей.

Высокая концентрация энергии взрыва кумулятивного заряда с фокусированием ее по линии реза корпусных переемычек позволила отсоединенному отсеку по спусковым путям двигаться в шахте менее четырех секунд, выйти из корпуса со скоростью около 12 м/с и примерно за 3,5 секунды приземлиться на глубину 50 м.

Выгрузка отсека была осуществлена 19 сентября 1967 г. При этом прочность и

водонепроницаемость главных продольных и поперечных переборок корпуса ледокола нарушены не были.

На момент подрыва кумулятивных зарядов на ледоколе оставались только аварийно-спасательные партии и комиссия, руководившая выгрузкой отсека.

Заметим, что перед удалением реакторного отсека из всех реакторов были выгружены активные зоны, а оставшиеся их объемы заполнены фурфуролом, проведена дезактивация остающегося оборудования, удаляемый отсек загерметизирован.

После выгрузки отсека ледокол «Ленин» был отбуксирован в порт Мурманск. Буксировка проводилась при вырезанном днище (12×13 м) со скоростью не более 9 уз, так как забортная вода, находившаяся в центральном отсеке ледокола, оказывала сильное гидродинамическое воздействие на водонепроницаемые переборки. Контроль отсутствия фильтрации забортной воды осуществлялся аварийными партиями.

26 сентября 1967 г. ледокол прибыл в порт Мурманск и 5 октября был поставлен в док.

Для восстановления днища ледокола была использована технология, разработанная ЦКБ «Айсберг» и Адмиралтейским заводом. Оригинальность технологии заключалась в том, что изготовленная по размерам днищевой выреза новая секция буксировалась по воде от места ее сборки до плавдока и устанавливалась на килевой дорожке. Док притапливался на определенную глубину, а ледокол с вырезом в днище располагался точно над секцией. При всплытии дока новая секция входила в вырез днища ледокола, после чего выполнялась еесварка с основным корпусом.

16 ноября 1967 г. днище ледокола было восстановлено, а 20 ноября все работы в доке, связанные с установкой забортной арматуры по новому проекту, выполнены. На этом был завершен важнейший этап модернизации ледокола «Ленин» – демонтаж опытной атомной установки ОК-150.

Ледокол «Ленин» после подготовки к морскому переходу был отбуксирован на судоремонтный завод в г. Северодвинск и 12 декабря 1967 г. поставлен у стенки предприятия «Звездочка» для монтажа новой АППУ типа ОК-900 и обслуживающих систем, а также выполнения модернизационных работ, не связанных с АППУ.

В процессе монтажа новой атомной установки ОК-900 предстояло выполнить большой объем работ: расположить ее в пределах центрального отсека; переоборудовать помещения, смежные с атомной установкой; - оборудовать новые помещения для систем, обеспечивающих работу атомной установки;

значительно увеличить объем информационно-управляющих систем; заменить устаревшее оборудование; выполнить работы по требованиям Международной конвенции 1960 г. Узлы и системы новой установки ОК-900 требовалось состыковать и увязать с существующими элементами паротурбинной и гребной электрической установками, а также устранить недостатки, выявленные при эксплуатации ледокола.

Большой объем новых, не свойственных ранее предприятию «Звездочка» работ, потребовал создания и освоения новых технологий: обработки толстолистовой нержавеющей стали методом плазменной резки, электрошлаковой сварки, сборки агрегатированных в цехах механизмов с трубопроводами и многое другое.

Монтажным работам предшествовала тщательная дезактивация корпусных конструкций, оборудования и трубопроводов, имевших остаточные радиационные загрязнения от предыдущей эксплуатации ледокола.

Атомная установка стала состоять из двух реакторов тепловой мощностью по 159 МВт каждая. В реакторной установке типа ОК-900 было выполнено следующее:

- усовершенствована компоновка активной зоны;
- снижено давление в контуре теплоносителя до 130 кг/см² вместо 180 кг/см²;
- заменена паровая система компенсации давления I контура на газовую систему;
- заменена петлевая система соединения оборудования с реактором на короткие патрубки типа «труба в трубе»;
- усовершенствована системы управления теплообменными процессами;

- создана новая система представления информации на пультах операторов с использованием впервые в отечественной судовой практике машины централизованного контроля;
- разработана новая конструкция парогенераторов (ПГ-18т), позволяющая замену трубной системы без демонтажа корпуса, отключение вышедших из строя секций, использование естественной циркуляции первичного теплоносителя путем организации его потока в межтрубном пространстве ПГ;
- создана новая конструкция теплоносителя (ЦНПК), позволяющая заменить электродвигатель насоса с минимальными трудозатратами за счет организации хорошего доступа к ним.

Наряду с изложенным на ледоколе введено более экономичное автоматическое регулирование всей механической установкой. Автоматизировано управление электропитанием основных потребителей. Сбор, обработку и представление информации по радиационной обстановке в контурах атомной установки, сточных активных водах, по замерам аэрозольной активности и фону по помещениям ледокола выполняется с помощью системы «КАРК-01», пульт, мнемосхема и основная аппаратура которой размещены в центральном посту радиационного контроля.

Расчетный срок службы основного оборудования установки составил 25–30 тыс. часов, а корпусов реактора – 100 тыс. часов. Непрерывная работа всех механизмов и агрегатов без профилактического ремонта обеспечивалась в течение 5000 часов.

К апрелю 1970 г. были закончены все монтажные работы по вписанию и стыковке новой АППУ в корпус ледокола и завершились модернизационные работы по всей энергетической установке. Так,

из 675 помещений ледокола 204 были сформированы вновь или полностью переоборудованы. В 16 помещениях были заменены или дополнительно установлены механизмы и изделия. Вместо шести турбопитательных насосов были установлены только четыре, но они уже имели локальную систему автоматического и дистанционного управления, которая взаимодействовала с автоматикой паро-конденсатного цикла, вместо восьми турбоконденсатных стало четыре, тоже автоматизированных, заменены аварийные дизель-генераторы более мощными с надежной системой автозапуска.

При модернизации было проложено 200 км электрокабеля, 50 км труб разных диаметров, установлено 6200 единиц новых механизмов и оборудования, из них свыше 30 головных образцов основного оборудования.

К 22 апреля 1970 г. завершились все работы на энергетической установке, включая загрузку ядерного топлива в реакторы. Закончив функциональные проверки работы систем и механизмов реактор №2, а затем реактор №1 были выведены на физический уровень мощности. Начались комплексные испытания установки ОК-900 при стоянке ледокола у стенки завода.

Работа атомной установки на ходовых режимах проверялась в море в конце мая 1970 г., а 20 июня был подписан приемный акт, и 21 июня ледокол вышел в арктическую навигацию.

Многолетняя успешная работа ледокола «Ленин» в арктических льдах с новой атомной установкой дала возможность убедиться в правильности выбранного пути по использованию ядерной энергетики в ледоколостроении и надежности ЯЭУ. Полученный опыт был хорошо изучен и использован при создании атомных ледоколов нового поколения. ■



Атомный ледокол «Ленин»

В настоящее время идет формирование государственной программы РФ «Развитие оборонно-промышленного комплекса на период 2024 – 2033 годов» (далее – ГП ОПК), для чего Минпромторгом РФ инициированы работы по предоставлению информации о НИОКР для включения в ГП ОПК.

Осознавая всю проблематику в области корабельной энергетики, следует ожидать объединения усилий всех заинтересованных организаций (Главного командования ВМФ, НИИ КиВ ВУНЦ ВМФ «ВМА», морских конструкторских бюро и энергомашиностроительных предприятий, работающих в интересах ВМФ) при обосновании единых подходов к перспективам развития корабельной энергетики на ближайшее десятилетие для включения необходимых НИОКР в ГП ОПК.

К сожалению, на сегодняшний день в перечисленных выше заинтересованных организациях сложились устоявшиеся стереотипы по обоснованию облика энергетических установок перспективных кораблей, т.е. типа, состава и схемного исполнения, которые были сформированы еще в 70-х гг. прошлого столетия. Это проявляется, например, в популяризации концепции (системы взглядов) о доминировании газотурбинных двигателей в составе энергетических установок (ЭУ) перспективных многоцелевых надводных кораблей или в формировании эксклюзивной (индивидуальной) энергетической установки под каждый проект надводных кораблей различных классов (корвет, фрегат, эсминец и даже легкий авианосец), как это имело место более 50 лет назад.

Если исходить из научного обоснования облика ЭУ перспективных кораблей, то следует отталкиваться от их основного целевого предназначения, а именно: *обеспечивать поступательное движение и маневренность корабля, а также проектную дальность плавания на маршевых ходах (как правило, на 16 – 18 уз), а боевых и повседневных потребителей всеми видами энергии заданного качества и в нужном количестве.* В последние годы, исходя из многоцелевого предназначения боевых надводных кораблей, со смещением приоритета в сторону поиска и уничтожения подводных лодок, четко обозначилось еще одно целевое предназначение ЭУ – *обеспечение малошумных поисковых режимов с буксируемой гидроакустической станцией (ГАС) и плавности изменения хода путем управления главной энергетической установкой с ходового мостика.* Кроме того, на перспективных кораблях в последнее время прослеживается тенденция существенного увеличения электропотребления перспективных средств оружия и вооружения и других

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПЕРСПЕКТИВНЫХ БОЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

ЧАСТЬ 1

В.В. Барановский, д-р техн. наук, проф., зам. ген. директора по энергетическим установкам, судовым системам и устройствам АО «ЦМКБ «Алмаз»,
П.Г. Печковский, канд. техн. наук, зам. ген. директора АО «Корпорация морского приборостроения» по науке и развитию,
контакт. тел. (812) 373 8300, 369 1233

технических устройств, таких как боевые лазеры, электромагнитные пушки, электромагнитные катапульты и др., что подталкивает конструкторов для обеспечения работоспособности указанных потребителей увеличивать мощность корабельной электрогенерации до значений, соизмеримых с мощностью главной энергетической установки.

Таким образом, в конструкторских бюро при проектировании перспективных боевых кораблей возникают четыре основные задачи, которые решаются энергетическими установками сообразно их целевому предназначению:

первая – обеспечение поступательного движения и маневренности корабля, эффективность решения которой может быть эквивалентна скорости полного хода развиваемой кораблем;

вторая – обеспечение проектной дальности плавания корабля, эффективность решения которой может быть соизмерима с наибольшей дальностью плавания корабля определенного водоизмещения на маршевых ходах (16 – 18 уз) при фиксированных запасах топлива;

третья – обеспечение малошумных поисковых режимов при решении задач противолодочной обороны (ПЛО), эффективность которой обратно пропорциональна уровню подводного шума, излучаемого пропульсивной установкой на поисковых режимах;

четвертая – обеспечение перспективных энергоемких боевых потребителей электроэнергией в объемах, соизмеримых с мощностью главной энергетической установки.

Поэтому на ранних этапах исследовательского проектирования кораблей конструкторам следует формировать облик ЭУ (тип ЭУ, состав главных двигателей и схемное исполнение), исходя из соображений наибольшего удовлетворения четырем обозначенным целям с позиций теории эффективности, подумывая при этом, что любое техническое решение имеет свою стоимость. Учитывая непростую ситуацию с финан-

сированием государственного оборонного заказа (ГОЗ), стоимость создания и эксплуатации ЭУ перспективных кораблей следует минимизировать, так как в современных условиях неприемлем принцип обеспечения максимальной эффективности любой ценой.

Последнее обстоятельство предопределяет реализацию стратегии перспективного развития энергетических установок кораблей с уклоном в сторону их унификации, по аналогии с реализацией в ВМС США. В современной непростой обстановке мы не можем себе позволить создавать эксклюзивную ЭУ под каждый проект корабля, как это было в недалеком прошлом, во времена ВМФ СССР. Это означает, что при обосновании облика ЭУ перспективных кораблей, необходимо стремиться к унификации основного оборудования, т.е. главных двигателей, главных редукторных передач, генераторов электроэнергетики, гребных электродвигателей и др.

Ниже рассмотрены основные направления развития и совершенствования ЭУ перспективных боевых надводных кораблей в свете их целевого предназначения, а также необходимые НИОКР для включения в ГП ОПК, основываясь на зарубежном и отечественном опыте разработки и создания корабельной энергетики.

Прежде всего следует учитывать, что к настоящему времени ведущими зарубежными корпорациями разработаны и активно поставляются на перспективные боевые корабли эффективные дизельные двигатели высокой агрегатной мощности и моторесурса, а также корабельные газотурбинные двигатели (ГТД) нового поколения большой агрегатной мощности (35,0 МВт и более). Использование таких двигателей на боевых кораблях позволяет реализовывать современные подходы к формированию облика ЭУ в обеспечение их целевого предназначения с наибольшей эффективностью, такие как, например, использование одного ГТД в составе главных энергетических установок (ГЭУ) и др. [1].

Учитывая, что за рубежом уже давно разработаны и активно используются на боевых кораблях газотурбинные двигатели большой агрегатной мощности, такие как, например RR МТ30 мощностью 36,0 МВт, задача создания аналогичного отечественного ГТД, как никогда является актуальной, что обуславливает необходимость включения НИОКР по разработке и созданию такого двигателя в ГП ОПК.

Наличие ГТД большой агрегатной мощности будет способствовать приданию перспективным многоцелевым кораблям высоких маневренных качеств, обеспечивающих развитие скоростей полного хода более 30 уз, что для ВМФ РФ крайне необходимо. Мы не можем себе позволить создание перспективных надводных кораблей со скоростями полного хода, не превышающими 24 – 26 уз, как это пока имеет место при строительстве кораблей некоторых проектов и обусловлено состоянием безысходности в отдельных областях корабельного двигателестроения.

Наглядным примером, подтверждающим последнее утверждение, является недавний инцидент в Черном море, произошедший 23 – 24 июня 2021 г., издевательского прохода британского корабля HMS «Defender» (D36) в территориальных водах РФ. После того как эсминец увеличил скорость хода до 30 уз, российский сторожевой корабль не смог сопровождать его и постыдно начал отставать.

Этот небольшой пример свидетельствует о том, что боевые корабли ВМФ РФ ни в коей мере не должны уступать по скоростным характеристикам зарубежным. Во времена ВМФ СССР это правило неукоснительно выполнялось.

Решение указанной задачи, т.е. придания высоких скоростей и маневренности перспективным кораблям, возможно только за счет использования в составе ЭУ газотурбинных двигателей, причем ГТД высокой агрегатной мощности.

На сегодняшний день в распоряжении конструкторов имеются в наличии корабельные ГТД разработки ПАО «ОДК-Сатурн»: М90ФР (20,2 МВт), М70ФРУ (10,0 МВт), М70 ФРУ-Р (реверсивный 8,8 МВт), М70ФРУ-2 (с выходом вала вперед для десантных кораблей «Зубр» и «Мурена» – 8,2 МВт) и М75 РУ (5,0 МВт).

На современных многоцелевых фрегатах и перспективном корвете «Держкий» используется только один тип из перечисленных двигателей – М90ФР. Указанный двигатель в ближайшей перспективе, что и предусмотрено в рамках действующей ФЦП (2018 – 2027 гг.), предполагается форсировать до мощности $b_e = 25,0$ МВт, а в рамках корректируемой ФЦП (2024 – 2033 гг.) предлагается предусмотреть разработку перспектив-

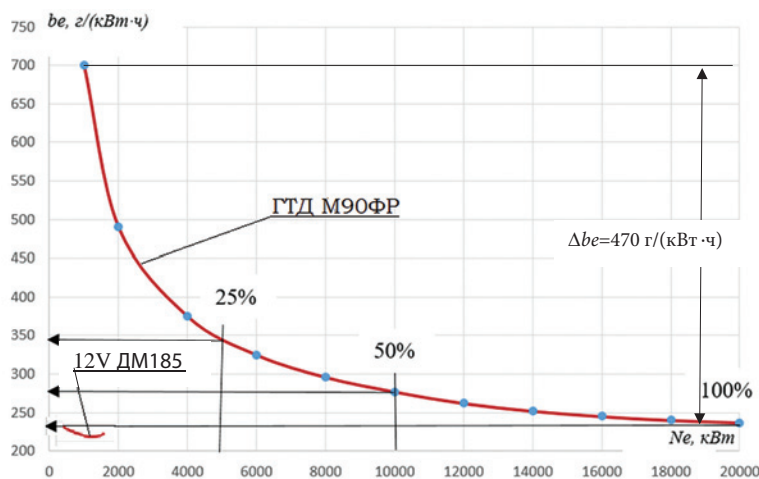


Рис. 1. Сравнительная характеристика изменения удельного расхода топлива ГТД М90ФР и дизеля 12V ДМ185

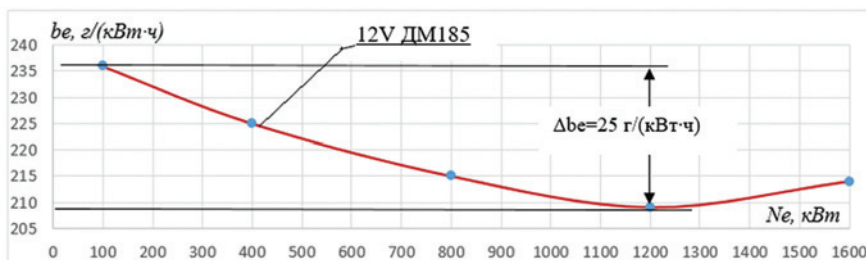


Рис. 2. Диапазон изменения удельного расхода топлива дизеля 12V ДМ185

ного корабельного ГТД 5-го поколения мощностью 35,0 МВт – МГТД-35.

Целесообразность разработки перспективного корабельного ГТД большой агрегатной мощности (более 25 МВт) обусловлена несколькими причинами, среди которых следует обозначить четыре изъяна, свойственных всем корабельным ГТД, в частности:

Первый изъян: низкая экономичность ГТД на малых нагрузках (менее 50% от $N_{ном}$) по сравнению с дизельными двигателями [2, 3] (рис. 1 и рис. 2).

Как следует из анализа кривых удельного расхода топлива, представленных на рис. 1 и рис. 2, дизельные двигатели работают с высокой экономичностью практически во всем диапазоне нагрузок – разница между наименьшим значени-

ем удельного расхода топлива и наибольшим составляет всего 25 г/(кВт·ч).

Приемлемая экономичность ГТД сохраняется только на больших нагрузках, более 50% от номинальной. На меньших нагрузках (менее 10 МВт) экономичность ГТД стремительно снижается, удельный расход топлива достигает неприемлемых значений $b_e \geq 275$ г/(кВт·ч), что способствует снижению экономичности ЭУ и, соответственно, дальности плавания корабля. Разница между наименьшим значением удельного расхода топлива и наибольшим составляет существенную величину – около 470 г/(кВт·ч).

Второй изъян: значительные ограничения ресурса при использовании ГТД на больших нагрузках (рис. 3) [3].

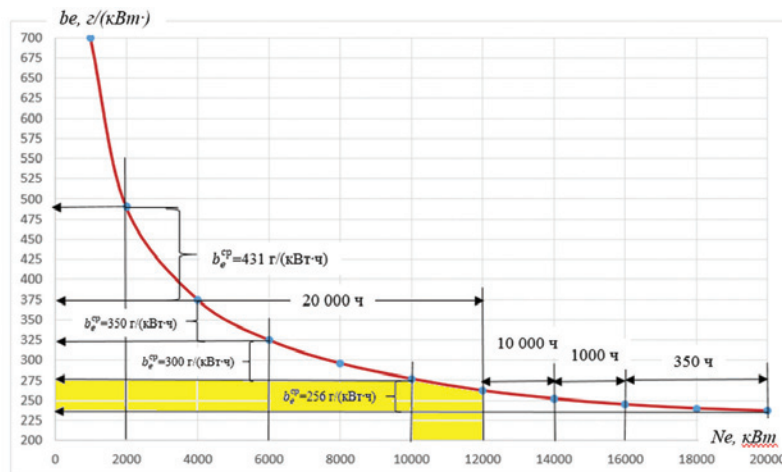


Рис. 3. Изменение назначенного ресурса и удельного расхода топлива ГТД М90ФР при изменении нагрузки

Как следует из информации, представленной на рис. 3, назначенный ресурс ГТД до капитального ремонта (20 000 ч) на нагрузках более 80% от номинальной снижается в 57 раз (до 350 ч), на нагрузках в диапазоне $70\% N_{\text{ном}} \leq N_e \leq 80\% N_{\text{ном}}$ – в 20 раз (до 1000 ч), на нагрузках в диапазоне $60\% N_{\text{ном}} \leq N_e \leq 70\% N_{\text{ном}}$ – в 2 раза (до 10 000 ч). И лишь на нагрузках менее 12 МВт ($60\% N_{\text{ном}}$) подтверждается назначенный ресурс.

Кроме того, как следует из представленного графика, приемлемое значение экономичности ГТД без ускоренного истощения ресурса, наблюдается в очень узком диапазоне нагрузок – $50\% N_{\text{ном}} \leq N_e \leq N_e^{\text{opt}} \leq 80\% N_{\text{ном}}$. Последнее означает, что задача обеспечения приемлемых значений КПД ГТД в широком диапазоне спектра скоростей использования корабля является практически неосуществимой.

Третий изъян: значительная подверженность технико-экономических характеристик ГТД влиянию факторов окружающей среды [3] (рис. 4).

Из анализа информации, представленной на рис. 4, следует, что увеличение температуры наружного воздуха по сравнению с расчетным значением (15 °С) на 15 °С (до 30 °С) приводит к снижению мощности корабельных ГТД ~на 13%, а увеличение температуры на 35 °С (до 50 °С) способствует снижению мощности ГТД ~на 30%.

С другой стороны, значительное увеличение выше расчетного значения температуры наружного воздуха приводит к существенным изменениям топливной экономичности и, соответственно, дальности плавания корабля (рис. 5, рис. 6).

Из анализа кривых, представленных на рис. 5 и рис. 6, следует, что увеличение температуры наружного воздуха на 15 – 35 °С приводит к значительному увеличению часового и удельного расходов топлива ГТД (на 13 – 27 % и более), что способствует снижению дальности плавания корабля под ГТД на аналогичные относительные величины по сравнению с расчетной температурой наружного воздуха.

Четвертый изъян: значительная загроможденность пространства корабельных помещений воздухоприемными и газовыхлопными устройствам (рис. 7).

Как видно на рис. 7, воздухоприемники и газовыхлопные устройства главных дизельных двигателей и дизель-генераторов занимают минимум корабельного пространства, по сравнению с аналогичными устройствами ГТД. По этой причине все корабли схемного исполнения SOGOG или SOGAG с несколькими ГТД в составе ГЭУ имеют сильно развитую воздухоподводящую и газовыхлопную части, которые мешают размещению полезной нагрузки.

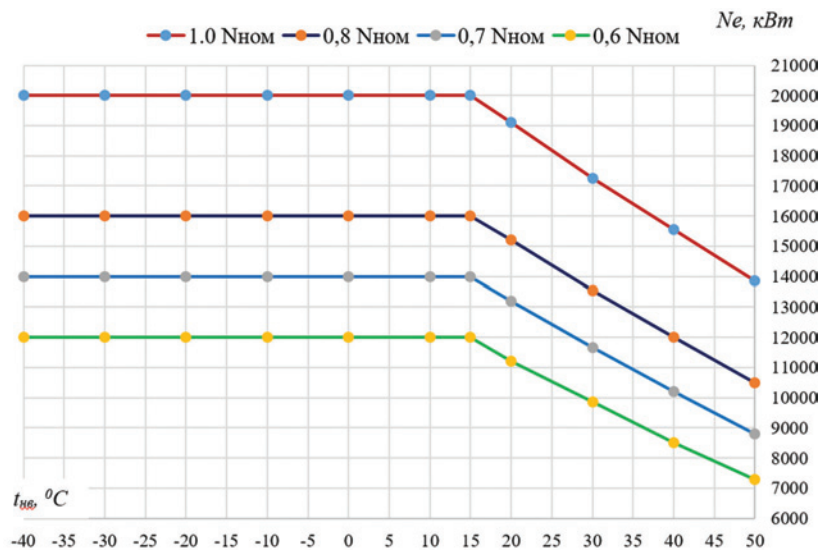


Рис. 4. Изменение мощности ГТД М90ФР в зависимости от температуры атмосферного воздуха

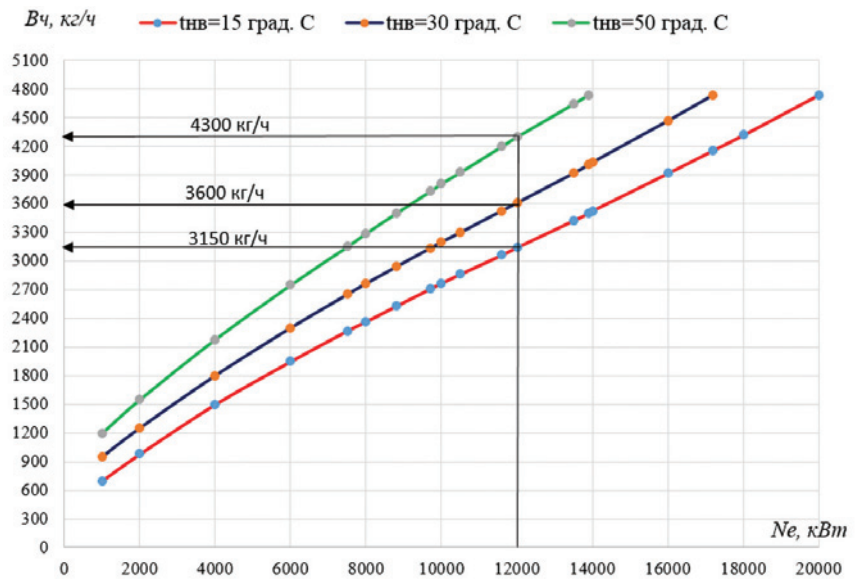


Рис. 5. Изменение часового расхода топлива ГТД М90ФР для различных значений температуры наружного воздуха

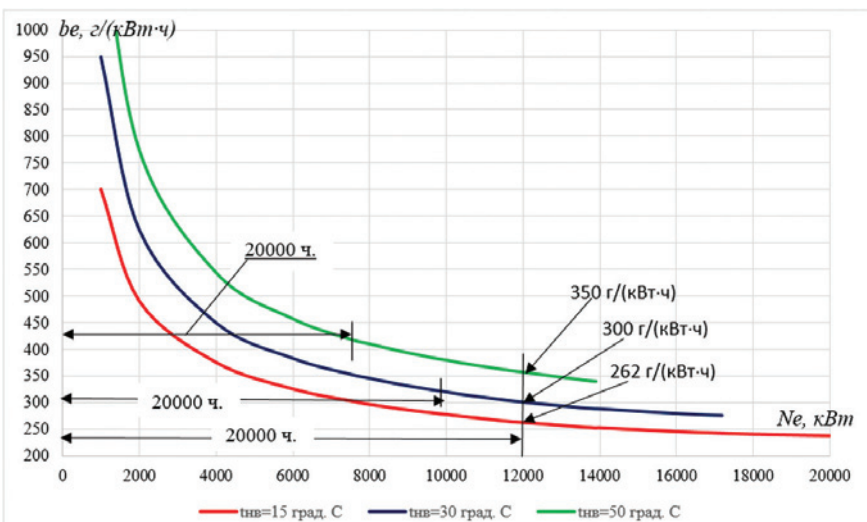


Рис. 6. Изменение удельного расхода топлива ГТД М90ФР для различных значений температуры наружного воздуха

Для локализации негативных изъянов, свойственных корабельным ГТД, как следует из зарубежного опыта, не-

обходимо реализовать следующие мероприятия (рис. 8):
– форсировать базовый ГТД М90ФР по

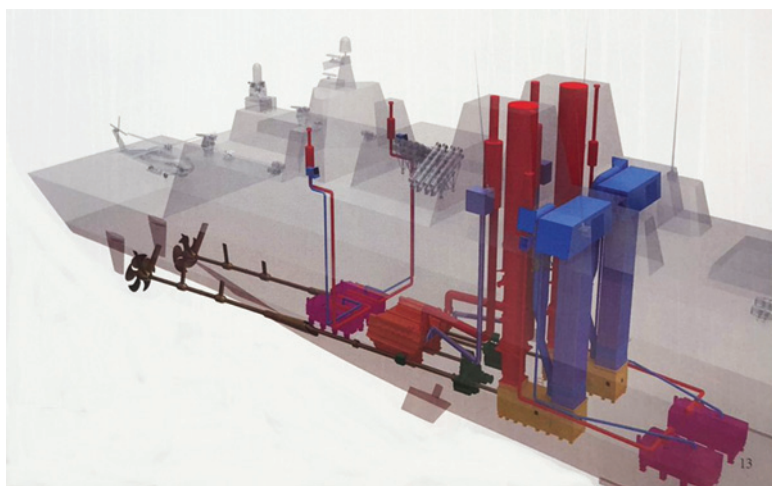


Рис. 7. Загроможденность пространства корабельных помещений воздухозаборными и газовыхлопными устройствами ГТД

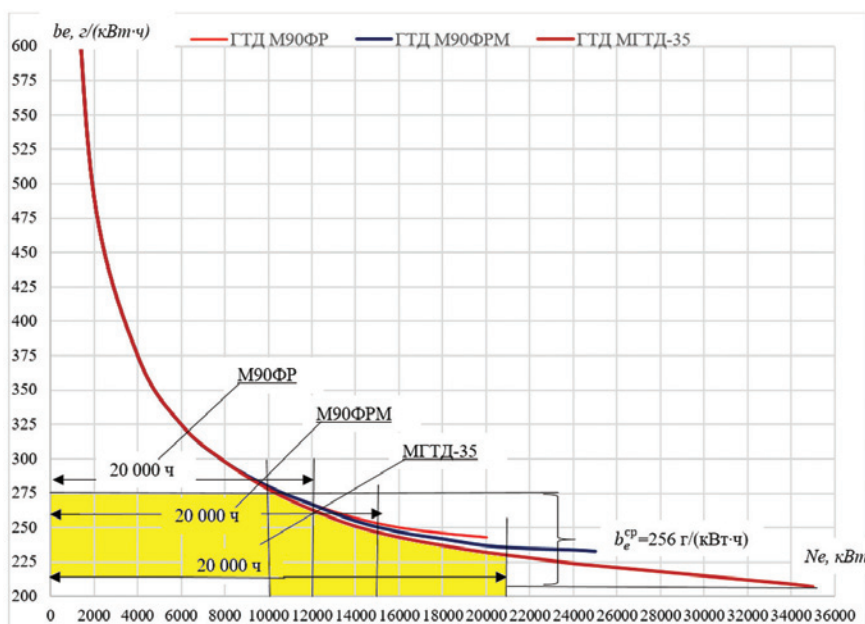


Рис. 8. Изменение удельного расхода топлива и ресурсных ограничений ГТД М90ФР, М90ФР-25 и МГТД-35 в зависимости от нагрузки

- мощности – до 25 МВт (М90ФР-25);
- осуществить разработку и создание перспективного ГТД 5-го поколения большой агрегатной мощности $N_e \geq 35$ МВт;
- для снижения загроможденности корабельного пространства воздухозаборными и газовыхлопными устройствами необходимо минимизировать количество ГТД, применив только форсажные ГТД большой мощности в составе ЭУ, а в качестве маршевых двигателей использовать дизельный привод.

Использование более мощных ГТД по сравнению с базовым М90ФР позволит нивелировать противоречие, выражающееся в том, что режимы работы ГТД с относительно высокой экономичностью (на нагрузках более 60% от номинальной) ограничены ускоренным истощением ресурса. Использование ГТД большей мощности позволит существенно расширить диа-

пазон режимов использования ГТД с относительно высокой экономичностью (рис. 8) без ускоренного истощения ресурса.

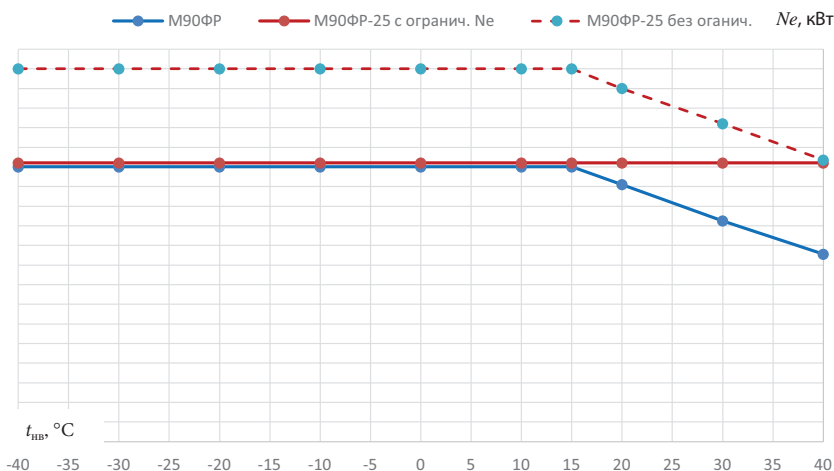


Рис. 9. Сравнительная характеристика изменения мощности корабельных ГТД М90ФР и М90ФР-25 в зависимости от температуры атмосферного воздуха

Указанный способ расширения диапазона нагрузок ГТД без ускоренного истощения ресурса широко используется в ВМС США. Так, например, на эскадренных миноносцах класса «Arleigh Burke» в составе ГЭУ вместо ГТД GE LM2500 агрегатной мощностью 22,0 МВт стали использовать ГТД GE LM2500+ агрегатной мощностью порядка 29,0 МВт при ограничении нагрузки двигателей не более 24,0 МВт.

Кроме того, использование ГТД большей агрегатной мощности будет способствовать снижению подверженности влиянию изменения температуры наружного воздуха на характеристики ГТД. Так, на рис. 9 представлена сравнительная характеристика влияния температуры наружного воздуха на изменение номинальной мощности базового ГТД М90ФР и перспективного ГТД М90ФР-25 (мощностью 25 МВт). Штриховой линией на рисунке обозначено изменение номинальной мощности ГТД М90ФР-25 при условии, если ее не ограничивать сверху в составе газотурбинного агрегата. Сплошными линиями показано изменение номинальной мощности ГТД М90ФР и ГТД М90ФР-25 при ограничении последнего по мощности до 20 МВт (по аналогии с эсминцами класса «Arleigh Burke»).

Из анализа представленной информации следует, что характер влияния температуры наружного воздуха на оба двигателя проявляется одинаково, но при условии использования в составе газотурбинного агрегата ГТД большей мощности, чем это требуется для развития скорости полного хода корабля, мы практически устраняем негативное влияние повышения температуры наружного воздуха за счет заложенного резерва.

Разработка перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35, мощностью до 35 МВт (рис. 10) является принципиально новой концепцией создания перспективного двигателя,

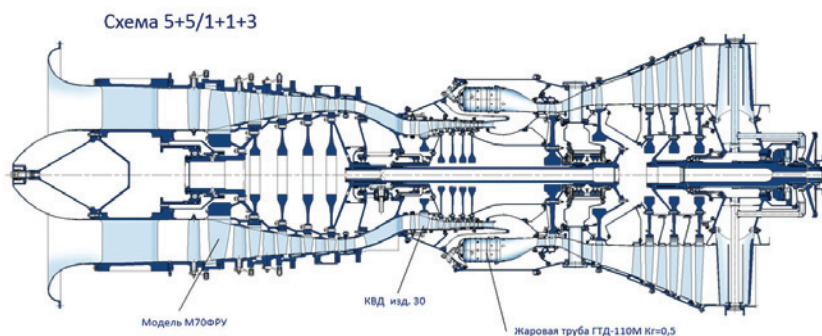


Рис. 10. Разрез перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 (проект ПАО «ОДК-Сатурн»)

Сравнительные характеристики корабельных ГТД

Таблица 1

Характеристика	LM2500+	LM2500+G4	RR MT30	МГТД-35
Мощность, МВт	29,0	35,32	36,0	25...35
КПД на валу СТ (ISO), %	39	39,5	39,7	≥40
Σ	25...30	-	-	-
Температура газа перед 1-м сопловым аппаратом турбины, К	1500...1580	-	-	-

анонсированной ПАО «ОДК-Сатурн» [4, 5]. При ее реализации могут использоваться отдельные отработанные технологии по двигателю М70ФРУ, изделие 30 (авиационный двигатель для самолета 5-го поколения СУ-57) и ГТД-110М. Характеристики перспективного двигателя представлены в табл. 1.

Анализ характеристик перспективного ГТД МГТД-35 свидетельствует о том, что он не должен уступать уже созданным зарубежным аналогам по агрегатной мощности и КПД, следовательно, инициативу по его созданию необходимо включить в ГП ОПК.

Реализация второй задачи целевого предназначения ЭУ – обеспечение высокой проектной дальности плавания перспективных надводных кораблей – не менее актуально, по важности не уступает обеспечению кораблям высокой маневренности. Важность указанной задачи обусловлена несколькими факторами:

- отсутствием развитой системы базирования кораблей ВМФ в предполагаемых районах плавания, по аналогии, например, с ВМС США, где эта задача стоит не так остро;
- недостаточно развитой системой вспомогательного танкерного флота, способного удовлетворять потребности кораблей в любых районах плавания при выполнении специальных задач.

В качестве примера можно привести возникшие проблемы с заправкой на переходе соединения кораблей в район выполнения задач в Средиземное море к берегам Сирийской Арабской Республики в 2016 г. во главе с тяжелым авианесущим крейсером «Адмирал Флота Советского Союза Кузнецов». Тогда были нарушены предварительные до-

говоренности и было отказано в дозаправке в испанском порту Сеута, а также Мальта не стала заправлять корабли Северного флота.

Зарубежный опыт свидетельствует о том, что перспективные многоцелевые корабли проектируются исходя из условия длительного нахождения на боевой службе в различных регионах Мирового океана (до двух лет) без захода в свою базу приписки [6]. В связи с этим к системам и механизмам ЭУ предъявляются повышенные требования к надежности (долговечности и ремонтпригодности, в частности), живучести и топливной экономичности.

Дальность плавания современных и перспективных зарубежных кораблей классов фрегат и эскадренный миноносец (британские эскадренный миноносец ПВО пр. 45 типа Daring и фрегат пр. 26 «Global Combat Ship», фрегаты ВМС Франции и Италии серии REMM, фрегат ВМС Германии F125 и др.) составляет не менее 6000 – 7000 миль. Очевидно, что и ВМФ РФ при создании перспективных боевых кораблей следует ориентироваться на аналогичные дальности плавания. Таким образом, дальность плавания перспективных корветов морской зоны водоизмещением $D \geq 3000$ т должна составлять не менее 5000 миль, фрегатов и эскадренных миноносцев – не менее 6000 – 7000 миль, а легких авианосцев водоизмещением $D \leq 70\ 000$ т – не менее 9000 миль.

Следует иметь в виду, что указанные дальности плавания кораблей должны достигаться на маршевых ходах, как правило, на скоростях 16 – 18 уз, т.е. на скоростях походного порядка боевых кораблей.

Все рассуждения об увеличении дальности плавания кораблей необходи-

мо вести, подразумевая ограниченность запасов топлива, так как конструкторы при их проектировании стремятся увеличивать полезную нагрузку, т.е. массу оружия и вооружения, а не объемы топливных цистерн, превращая корабль в мини-танкер, как это было во времена ВМФ СССР.

Проектная дальность плавания, а следовательно, и минимальный расход топлива на милю на указанных скоростях хода, зависят от удельного расхода топлива главных двигателей b_e (кг/кВт×ч), развиваемой мощности главных двигателей (кВт), которая пропорциональна валовой мощности WPS (кВт) и величины самой скорости хода на марше v (уз) $b_m = \frac{b_e \cdot N_e}{v}$, кг/миля. Рассчитывается дальность плавания для фиксированных значений запасов топлива $P_{\text{топл}} = \text{const}$ (кг) при скорости хода на марше $v_{\text{марш}} = 16\text{--}18$ уз и мощности главных двигателей $N_e^{\text{марш}}$ (кВт) на данной скорости, которая пропорциональна валовой мощности $N_e^{\text{марш}} = \frac{WPS_{\text{марш}}}{\eta_p \cdot \eta_{\text{лв}}}$ (кВт), где $\eta_p \cdot \eta_{\text{лв}}$ – соответственно КПД редуктора и линии вала.

С учетом вышеизложенного, расчетная зависимость для оценки дальности плавания имеет вид $S_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{топл}} \cdot v_{\text{марш}}}{b_e \cdot N_e^{\text{марш}}}$, миль.

В данной зависимости запасы топлива $P_{\text{топл}} = \text{const}$ (кг) строго определены и не изменяются, скорость хода на марше, как правило, задается, мощность главных двигателей $N_e^{\text{марш}}$ в обеспечении заданной скорости хода зависит от форм обводов корпуса и водоизмещения корабля. Указанные характеристики для конкретного спроектированного корабля невозможно увеличить или уменьшить, следовательно, у конструкторов остается только один рычаг воздействия на дальность плавания корабля – подобрать такие маршевые главные двигатели, которые имели бы наименьший удельный расход топлива b_e (кг/кВт×ч) $\rightarrow \min$ на мощности $N_e^{\text{марш}}$.

Окончательно обеспечить высокие дальности плавания корабля на маршевых скоростях 16 – 18 уз и даже на более высоких скоростях можно только за счет применения двигателей с наименьшими удельными расходами топлива b_e (кг/кВт×ч). Указанными свойствами обладают лишь дизельные двигатели, как самые экономичные из всех известных тепловых двигателей, удельный расход топлива которых значительно ниже, чем у газотурбинных двигателей, причем во всем диапазоне рабочих нагрузок (см. рис. 1, рис.2).

Дизельные двигатели имеют высокую топливную экономичность, но по сравнению с газотурбинными, имеют

такими недостатками, как значительные габариты и масса. Поэтому на боевых надводных кораблях могут использоваться только высокооборотные или среднеоборотные дизели, удельная масса которых соответственно составляет 2,5 – 5,0 для высокооборотных и 5,5 – 8,0 для среднеоборотных дизелей. Малооборотные дизели, невзирая на самую высокую топливную экономичность, не могут использоваться на боевых кораблях из-за еще больших значений габаритов и массы, удельная масса которых может составлять 35 и более.

Неприемлемость использования газотурбинных двигателей в обеспечение проектной дальности плавания корабля при ограниченных запасах топлива, несмотря на их минимальные габариты и массу и высокую агрегатную мощность, состоит в значительном увеличении удельных расходов топлива на частичных нагрузках (см. рис. 1, 3, 8). А на нагрузках, близких к номинальной мощности, на которых экономичность ГТД остается в приемлемых значениях, происходит ускоренное исчерпание ресурса ГТД. Другими словами, ГТД изначально не подходит для обеспечения боевым кораблям наибольшей дальности плавания, хотя они и имеют определенные преимущества.

Из отечественного и зарубежного опыта использования боевых надводных кораблей известно, что их дальность плавания при примерно одинаковом водоизмещении с газо-газотурбинными ЭУ в 1,5 – 1,7 раза меньше, чем у кораблей с дизель-газотурбинными ЭУ, где дизельные двигатели используются в качестве маршевых. Так, например, дальность плавания эскадренных миноносцев УРО ВМС США типа «Srguance», «Kidd», «Arleigh Burk» и крейсеров УРО типа «Ticonderoga» ($D \sim 8400 - 9800$ т) с газо-газотурбинной ЭУ в виде спарки 2 ГТД типа LM2500, не превышает 4000 – 4500 миль. В то же время на европейских многоцелевых фрегатах типа «Горизонт», даже немного меньшего водоизмещения (6700 т), таких как, например, «Fogbin» ВМС Франции или «Andrea Doria» ВМС Италии, с дизель-газотурбинной ЭУ, дальность плавания составляет 7000 миль, т.е. больше американских аналогов в 1,7 раз.

По указанной причине дизель-газотурбинная ЭУ, где дизели используются на скоростях экономического хода (14 – 18 уз и более), а газотурбинная – на больших скоростях хода (более 22 уз), является наиболее предпочтительной для удовлетворения целевого предназначения ЭУ по маневренности и дальности плавания корабля.

В ВМС европейских морских держав, таких как, например, Германия, Франция и Италия, еще в начале 60-х

– 70-х гг. прошлого столетия, с началом активного внедрения на надводных кораблях газотурбинных двигателей, для достижения проектной дальности плавания кораблей классов фрегат и эсминец в 6000 миль и более стали использовать дизель-газотурбинные ЭУ схемного исполнения CODAG (англ. COmbined Diesel And Gas turbine) и CODOG (англ. COmbined Diesel Or Gas turbine). Использование дизельного привода на маршевых ходах способствовало появлению к указанному периоду за рубежом корабельных дизельных двигателей большой агрегатной мощности и моторесурса, основными производителями которых являлись известные мировые компании: MTU, Wartsila, SEMT Pielstick и др.

Кроме того, высокая экономичность дизельных двигателей подстегивает конструкторов расширять скоростной диапазон использования кораблей за счет работы только маршевых дизелей, что позволяет экономно расходовать топливо при широком диапазоне спектра скоростей их использования – 6 – 22 уз (т.е. до 75% общего ходового времени).

Так, например, на современных европейских фрегатах серии FREMM обеспечивается скорость хода под маршевыми дизель-генераторами (в дизель-электрическом варианте ЭУ) до 18 уз, на немецком фрегате F125 – до 20 уз, а на перспективных патрульных кораблях ВМС Италии серии PPA под маршевыми дизельными двигателями MTU 20V 8000 M91L, мощностью $2 \times 10,0$ МВт, обеспечивается скорость хода не менее 22 уз, т.е. порядка 70 – 75% всех миссий корабля.

При обосновании облика ЭУ перспективных кораблей и решении компромиссной задачи между обеспечением маневренных характеристик корабля (*первое целевое предназначение ЭУ*) и топливной экономичности на маршевых ходах (*второе целевое предназначение ЭУ*) за рубежом предпочтение было отдано экономичности, т.е. обеспечению экономичных режимов, соответствующих 70 – 75% всех миссий корабля. Сказанное подтверждает состав ЭУ кораблей постройки с начала 2000-х гг., где в него включены всего один форсажный ГТД большой мощности и два маршевых дизеля.

Дизель-газотурбинные ЭУ схемных исполнений CODAG или CODOG вплоть до начала XXI в. на кораблях морской и океанской зоны в отечественном ВМФ практически не использовались. Причина столь позднего развития дизель-газотурбинной энергетики у нас состоит в том, что в данный период не были разработаны эффективные высокооборотные и среднеоборотные дизель-

ные двигатели, аналогичные западным образцам, которые могли использоваться на кораблях классов корвет, фрегат и эскадренный миноносец.

Дизельные ЭУ завода «Звезда», изначально занимавшие доминирующее положение на торпедных и ракетных катерах, малых ракетных кораблях, противолодочных кораблях и тральщиках, обладали незначительным ресурсом до переборки (не более 2000 – 3000 ч), причем переборка могла осуществляться только в заводских цеховых условиях, что для флота представляет большое неудобство.

Исключение составляла созданная в начале 1980-х гг. дизель-газотурбинная ЭУ, с обеспечением совместной работы дизеля и газовой турбины на одну линию вала, схемного исполнения CODAG, которая предназначалась для ракетных катеров проектов 12411, 12418, 1242.1. Установка состояла из двух форсажных ГТД М70 мощностью 2×8830 кВт и двух маршевых дизельных агрегатов М-510 мощностью 2×2940 кВт (каждый из дизельных агрегатов состоял из дизеля М-504 с двухскоростным редуктором и гидротрансформатора, предназначенного для совместной работы дизеля и газовой турбины).

Задача создания эффективных высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизелей большой агрегатной мощности и моторесурса для внедрения на многоцелевых кораблях классов корвет, фрегат и эсминец для отечественного ВМФ не теряет своей актуальности и по настоящее время.

При рассмотрении современного состояния и тенденций развития корабельных высокооборотных и среднеоборотных дизельных двигателей необходимо отметить высокую эффективность проведенных ведущими зарубежными фирмами работ по увеличению их экономичности, а также по повышению цилиндровой и агрегатной мощности.

Так, снижение расхода топлива осуществлялось за счет:

- увеличения максимального давления рабочего цикла p_{\max} (до 190 бар) и степени сжатия Σ (до 16), что позволяет обеспечить высокую термодинамическую эффективность цикла;
- повышения эффективности системы наддува при снижении потерь энергии выпускных газов в трактах, увеличения КПД агрегатов наддува (до 70 % и более), а также оптимизации фаз газораспределения и согласования системы «дизель – агрегаты наддува»;
- увеличения давления впрыска топлива (до 1600 бар и более) и уменьшение его продолжительности с целью интенсификации процессов

смесеобразования, сгорания и, соответственно, тепловыделения;

- увеличения механического КПД дизельного двигателя до 92–93 % (путем оптимизации агрегатов его обслуживающих);
- перехода при увеличении среднего эффективного давления p_{me} от чисто импульсных систем наддува к системам постоянного давления и повышения КПД турбокомпрессоров более 70 %, что создает предпосылки для развития работ по применению силовых газовых турбин, способствующих увеличению мощности силовой установки и ее КПД (до 50 % и более) и, следовательно, улучшению удельного расхода топлива.

Также актуальны такие направления улучшения эффективности корабельных дизельных двигателей, как снижение уровней шума и вибрации, повышение надежности и ресурсов (безотказной работы до 5000 – 8000 ч, непрерывной работы до 2000 ч и более, до первой переборки до 20 000 ч, до капитального ремонта до 80 000 – 100 000 ч), уменьшение удельных расходов масла на угар до 0,5 – 0,7 г/(кВт·ч), общего расхода масла и др.

Анализируя современное состояние российского дизелестроения, следует отметить, что отрасль несколько лет находилась в кризисе вследствие длительного развития ряда негативных факторов, таких как:

- банкротство и репрофилирование в процессе приватизации ряда дизелестроительных предприятий и организаций отраслевой науки;
- изношенность основных производственных фондов;
- отсутствие прикладных научных исследований и опытно-конструкторских работ, определяющих прогресс в дизелестроении;
- ликвидация (как нерентабельных) опытно-конструкторских подразделений и производств на дизелестроительных заводах и др.

Все это привело к серьезному отставанию отечественных предприятий от известных зарубежных фирм: MTU, MAN, SEMT Pielstick, Wärtsilä и других, которыми были разработаны мощные ряды высокооборотных и среднеоборотных корабельных дизелей, представляющих собой лучшие мировые аналоги, перекрывающие весь спектр потребностей ВМС иностранных флотов. Дизели иностранного производства, потеснив рынок отечественных производителей, начали широко использоваться на кораблях ВМФ.

После введения санкций европейскими странами Россия была вынуждена прилагать огромные усилия к созданию отечественных дизельных двигателей, так как производство собственных конс-

трукций двигателей и агрегатов для вооруженных сил в целом и для ВМФ, в частности, развертывание их выпуска в мобилизационный период укрепляет обороноспособность страны и имеет стратегическое значение.

Для исправления ситуации в данной области было принято Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 336 «О внесении изменений в подпрограмму «Создание и организация производства в Российской Федерации в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» федеральной целевой программы (ФЦП) «Национальная технологическая база» на 2007 – 2011 годы» [7].

На реализацию программы было выделено 8 млрд. рублей бюджетных средств, часть работ была профинансирована самими двигателестроителями. Итогом реализации подпрограммы стала разработка новых семейств российских дизелей, в том числе корабельных, а именно: три линейки среднеоборотных и две линейки высокооборотных двигателей нового поколения, по своим ха-

рактеристикам, не уступающим лучшим мировым аналогам.

Ведущие дизелестроители, получившие помощь, такие как: ОАО «Коломенский завод», ПАО «Звезда» и ООО «Уральский дизель-моторный завод» (УДМЗ), АО «Волжский дизель имени Маминых», создали новые линейки двигателей, активно привлекая иностранных партнеров.

В ОАО «Коломенский завод» в ходе выполнения поставленных в программе задач были самостоятельно спроектированы и изготовлены головные образцы двух новых типоразмерных рядов дизелей Д300 и Д500. Дизель новой размерности (ЧН26,5/31) 16СД500 (рис. 11) в настоящее время проходит межведомственные испытания.

В ОАО «Пенздизельмаш» разработан модельный ряд среднеоборотных дизельных двигателей и дизель-генераторных установок Д200.

В рамках той же подпрограммы ФЦП на УДМЗ создается линейка высокооборотных дизелей ДМ185 (проект «Энергодизель»), предназначенных

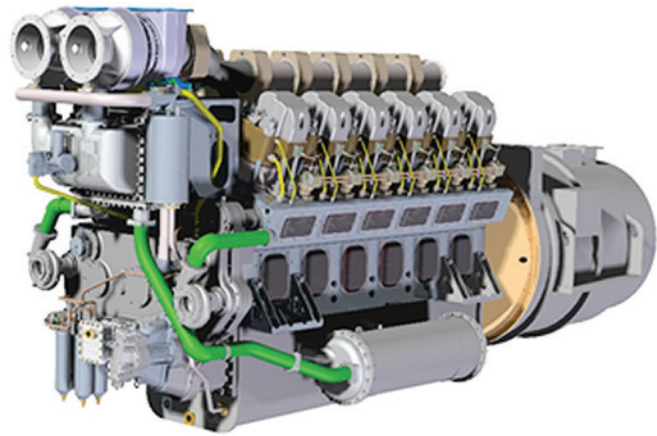


Рис. 11. Модель дизель-генератора с дизелем 12СД500

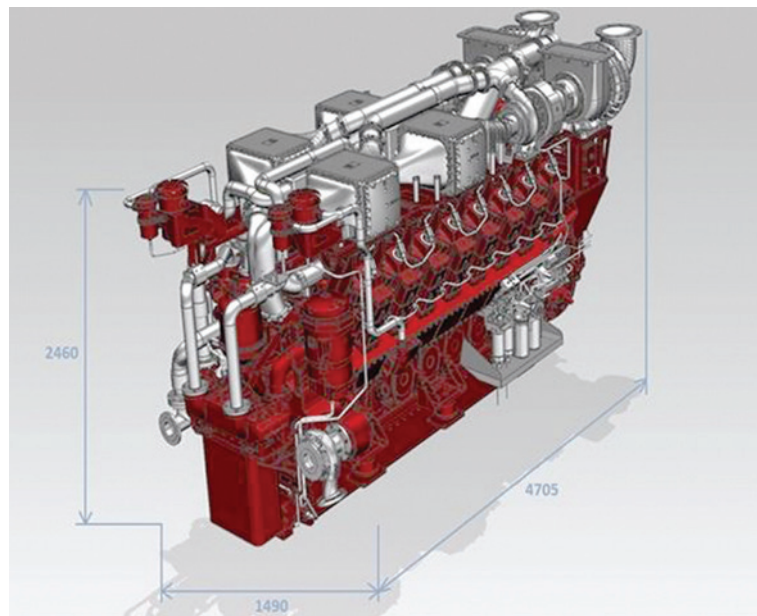


Рис. 12. Модель дизеля 16V ДМ185С

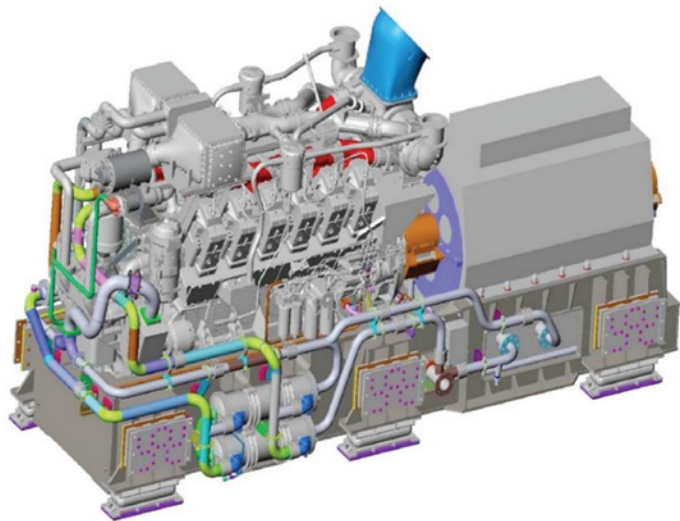


Рис. 13. Модель дизель-генератора АДГ-1600 с дизелем 12V ДМ185

для замены относительно устаревших и менее надежных дизелей серии ДМ21. Контракт с Минпромторгом на разработку линейки дизелей мощностью 700 – 3000 кВт для различных отраслей был подписан в 2012 г. В эту работу также инвестировал собственные средства машиностроительный холдинг «Синара-Транспортные Машины», куда входит УДМЗ.

Перспективный двигатель ДМ185 (рис. 12) с двумя ступенями турбонаддува сможет покрывать мощность в диапазоне 700 – 4800 кВт.

В настоящее время на предприятии идет сборка первого опытного образца двигателя 12V ДМ185, предназначенного для работы в составе дизель-генератора АДГ-1600 (рис. 13) корабля пр. 20386. Ожидается, что в этом году дизель серии ДМ185 успешно пройдет все виды испытаний и начнется его серийная поставка на корабли ВМФ.

Двигатель М150 «Пульсар» изначально был разработан петербургским

ПАО «Звезда» совместно с австрийской компанией AVL List GmbH (рис. 14). AVL List – инжиниринговая фирма, один из мировых лидеров в области разработки, моделирования и проектирования двигателей внутреннего сгорания.

«Звезда» создавала двигатель «Пульсар» по контракту с Минпромторгом в рамках ФЦП «Национальная технологическая база», конкурс предприятие выиграло в 2011 г.

Впоследствии у ПАО «Звезда» сменился собственник и предприятие перешло в промышленную группу «Синара-Транспортные Машины», куда и входит УДМЗ.

За рубежом были разработаны два опытных образца дизеля М150 «Пульсар», для налаживания серийного производства которых в России необходимо создать новый цех, разработать технологическую цепочку по выпуску комплектующих и др. В настоящее время дальнейшая перспектива дизеля остается неопределенной.

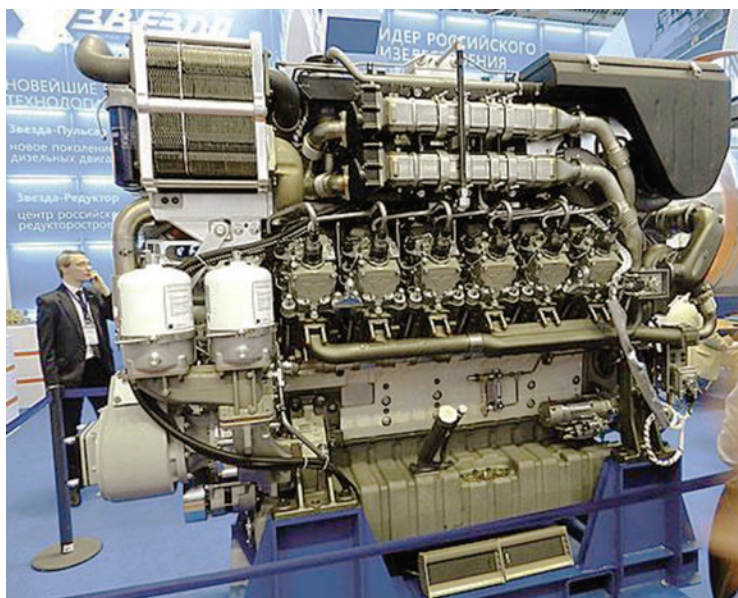


Рис. 14. Дизель ПАО «Звезда» М150 «Пульсар»

ВМФ крайне необходимы высокооборотные и среднеоборотные дизели, поскольку назрела острая необходимость в замене главных двигателей кораблей и судов обеспечения на более современные, по характеристикам не уступающие зарубежным аналогам. Основной диапазон потребляемой мощности высокооборотных двигателей – 700 – 6000 кВт, среднеоборотных двигателей 5000 – 12 000 кВт. Перспективная линейка высокооборотных дизелей Уральского дизель-моторного завода может составить 700 – 4800 кВт, а коломенских дизелей охватывает диапазон 3000 – 7350 кВт.

Определенный оптимизм мы можем испытывать по отношению к создаваемому на АО «Коломенский завод» перспективному среднеоборотному дизелю серии Д500, цилиндровой мощностью 500 л.с. (~ 367,5 кВт), на котором реализованы самые последние инновационные технологии. Такой дизель в 20-цилиндровом исполнении будет иметь мощность 7350 кВт, что на 25% меньше зарубежного аналога MTU 20V 8000, но по остальным показателям, таким как ресурс до капитального ремонта, удельный расход топлива и масла и др., он не должен ему уступать.

Таким образом, после успешного завершения испытаний дизеля серии Д500 на «Коломенский завод» конструкторы получают возможность создавать перспективные дизель-газотурбинные агрегаты с использованием указанного дизеля в качестве маршевых двигателей на кораблях широкого спектра классов – от корвета до легкого авианосца.

Перспективными направлениями развития отечественного судового дизелестроения являются создание линейки высокооборотных дизельных двигателей серий ДМ185 и М150. Указанные двигатели на перспективных кораблях ВМФ могут использоваться в качестве дизель-генераторов и в пропульсивных установках. В этой связи в качестве необходимых НИОКР для включения в ГП ОПК могут быть внесены следующие мероприятия:

- создание типоряда судовых дизель-генераторов мощностью 500–1500 кВт на базе двигателей М150 (ПАО «Звезда»);
- создание типоряда дизель-редукторных агрегатов, обеспечивающих требованиям ВМФ, для пропульсивных установок на базе дизелей М150 мощностью до 1500 кВт;
- создание типоряда дизель-генераторов мощностью 800–2700 кВт на базе двигателей ДМ185 (ООО «УДМЗ»);
- создание типоряда дизель-редукторных агрегатов, обеспечивающих требованиям ВМФ, для пропульсивных

установок на базе дизелей ДМ185 мощностью до 4500 кВт (ООО «УДМЗ»);

- развитие базы редукторостроения на ПАО «Звезда» в обеспечение создания типоряда дизель-редукторных агрегатов на базе двигателей ДМ185 и М150.

Ниже, в табл. 2, обозначены сферы применения перспективных высокооборотных дизельных двигателей на базе дизелей серий ДМ185 и М150.

Таким образом, сообразно второму целевому предназначению ЭУ – обеспечение высокой топливной экономичности и проектной дальности плавания корабля – большие надежды возлагаются на успешное завершение последних этапов разработки и проведения испытаний перспективных дизельных двигателей, по характеристикам не уступающим зарубежным аналогам, серий Д500, ДМ185 и М150.

Предполагается, что дизельный двигатель 16СД500 мощностью около 5900 кВт будет повсеместно использоваться в дизель-дизельных агрегатах корветов водоизмещением до 3000 т, а двигатель 20СД500 мощностью 7350 кВт может повсеместно использоваться в качестве маршевых двигателей кораблей классов фрегат, эсминец и даже легкий авианосец.

Дизельные двигатели серии ДМ185 и М150 должны занять нишу приводов дизель-генераторов взамен морально устаревших дизелей серии ДМ21, а также в пропульсивных установках малотоннажных кораблей и катеров.

Третье целевое предназначение корабельных ЭУ обусловлено обеспечением малошумных поисковых режимов ПЛО за счет работы малошумных гребных электродвигателей (ГЭД).

В конце прошлого столетия – начале двухтысячных годов практически для всех многоцелевых кораблей одним из важнейших приоритетов их целевого предназначения становится поиск и уничтожение подводных лодок. В этом случае обеспечение малошумных поисковых режимов с буксируемой гидро-

тойчиво, их работа сопровождается повышенным шумом и вибрацией, использование гребных электродвигателей для решения задач ПЛО является по сути безальтернативным вариантом ЭУ.

Многоцелевыми кораблями, на которых впервые были установлены гребные электродвигатели, была серия британских фрегатов пр. 23 типа «Duke» (1990 ÷ 2002 гг. постройки) с компоновочной схемой ЭУ CODLAG (англ. COmbined Diesel-eLectric And Gas turbine) (рис. 15).

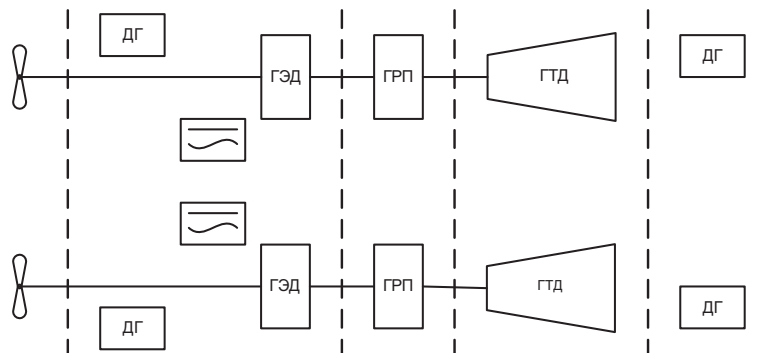


Рис. 15. Схема компоновки ЭУ фрегата пр. 23 британских ВМС

акустической станцией (ГАС), а также плавности изменения хода и управления ГЭУ с ходового мостика становятся одними из главных задач при создании ЭУ перспективных надводных кораблей.

Поскольку дизели и газотурбинные двигатели с прямодействующей передачей крутящего момента через редуктор на винт на малых оборотах в поисковых режимах ПЛО корабля работают неус-

энергетическая установка корабля включает два газотурбинных двигателя 2×Rolls-Royce Spey SM1С, мощностью 2×23,0 МВт, четыре дизель-генератора Paxman Valenta 12СМ, мощностью 4×1,5 МВт и два низкооборотных гребных электродвигателя ГЭС, мощностью 2×3,0 МВт, работающих на два винта регулируемого шага.

Данная специфическая схема ЭУ была разработана специально для фрегатов такого 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 поисковых задач при работе с развернутой буксируемой ГАС на скоростях хода 12 – 15 уз.

Схемное исполнение с частичным электродвижением и низкооборотными гребными электродвигателями получило распространение практически на всех многоцелевых европейских фрегатах постройки начала 2000-х гг. Такими установками оснащаются перспективные европейские фрегаты: F125 ВМС Германии, FREMM (Fregates Europeenne Multi-Mission) – ВМС Франции (постройки 2007 – по н.в.) и Италии (постройки 2009 – по н.в.), а также пр. 26 «Global Combat Ship» – британских ВМС (постройки 2017 – по н.в.).

В отечественном ВМФ конструкторами АО «ЦМКБ «Алмаз» для обеспечения малошумных поисковых режимов ПЛО впервые на боевом надводном корабле было реализовано частичное электродвижение в составе ЭУ перспек-

Таблица 2
Возможные сферы использования перспективных двигателей серий ДМ185 и М150, разработанных по ФЦП, на кораблях и судах ВМФ

№	Сфера применения дизелей серий ДМ185 и М150	Возможный класс кораблей и судов
1	Дизели типоряда ДМ-185С для применения в составе дизель-генераторов	
1.1	Дизели 6 ДМ-185С, 1500 об/мин для дизель-генераторов 630, 800 и 1000 кВт	Суда специального назначения, корветы, фрегаты
1.2	Дизели 12 ДМ-185С, 1500 об/мин для дизель-генераторов 1600 кВт	Суда специального назначения, корветы, фрегаты
1.3	Дизели 16 ДМ-185С, 1500 об/мин для дизель-генераторов 1800 и 2000 кВт	Перспективные корабли ВМФ и ФСБ
1.4	Дизели 20 ДМ-185С, 1500 об/мин для дизель-генераторов 2500, 3000 и 3500 кВт	Перспективные корабли с электродвижением
2	Дизели типоряда ДМ-185С для применения в составе пропульсивных установок	
2.1	Дизели мощностью от 700 до 2300 кВт в нефорсированном исполнении (1500 об/мин), с ресурсом не менее 70 000 ч	Вспомогательные суда ВМФ, ФСБ, морского и речного флота.
2.2	Дизели мощностью от 1200 до 4500 кВт в форсированном исполнении (1800 об/мин), с ресурсом не менее 45 000 ч	Корабли ВМФ и ФСБ водоизмещением до 2000 т
3	Дизели типоряда М150 для применения в составе дизель-генераторов	
3.1	Дизели 6L, 1500 об/мин для дизель-генераторов 315 кВт	Для перспективных кораблей ВМФ и ФСБ
3.2	Дизели 12V, 1500 об/мин для дизель-генераторов 630 кВт	Для перспективных кораблей ВМФ и ФСБ
4	Дизели типоряда М150 для применения в составе пропульсивных установок	
4.1	Дизели мощностью от 550 до 2000 кВт в нефорсированном исполнении (1900 об/мин), с ресурсом не менее 24 000 ч	Вспомогательные суда ВМФ, ФСБ, морского и речного флота
4.2	Дизели мощностью от 820 до 3000 кВт в форсированном исполнении (2250 об/мин), с ресурсом 5000 – 15 000 ч	Скоростные катера и корабли ВМФ и ФСБ

Основные режимы работы ЭУ ЭМ УРО типа «Zumwalt» и распределение нагрузки по потребителям

Основные режимы работы ОЭЭС (скорость хода корабля, %)	Распределение нагрузки по потребителям (%)			
	Резерв мощности ОЭЭС	Системы оружия и вооружения	Общекорабельные потребители	Система электродвижения
Скорость полного хода (100)	8,0	3,5	3,5	85,0
Скорость эконом, хода (75)	55,0	3,5	3,5	38,0
Скорость эконом, хода (50)	75,0	14,0 (РЛС большой мощности)	3,5	7,5
Скорость малого хода (25)	38,5	48,0 (защита акватории лазерным оружием)	8,5	5,0
Скорость малого хода (менее 25)	8,0	73,5 (атака наземных целей ЭМП)	15,0	3,5

тивного корвета пр. 20386 «Дерзкий», строительство которого осуществляется в АО «Северная верфь».

Особенность ЭУ корвета «Дерзкий» по сравнению с зарубежными аналогами (FREMM, F125 и «Global Combat Ship») – использование высокооборотных гребных электродвигателей, передающих крутящий момент через понижающий главный редуктор БРП, что позволяет значительно сократить массу и габариты ГЭД в 5 раз и более по сравнению с зарубежными аналогами, где используются низкооборотные ГЭД, передающие крутящий момент непосредственно на линию вала. Зарубежные ГЭД мощностью до 5 МВт обладают значительными габаритами и массой, достигающей 60 т на одну линию вала, что принципиально не позволяет использовать какие-либо средства их амортизации.

Несмотря на широкое распространение за рубежом на перспективных многоцелевых кораблях дальней морской зоны частичного электродвижения, на отдельных боевых кораблях более крупного водоизмещения в начале XXI в. были внедрены схемы ЭУ с полным электродвижением, т.е. объединенные энергетические системы (ОЭЭС). Такие системы были использованы на британских эскадренных миноносцах пр. 45 типа «Daring» (2003 – 2013 гг. постройки) и авианосцах типа HMS «Queen Elizabeth» (2009 – 2019 гг. постройки), а также на эскадренных миноносцах ВМС США DDG-1000 типа «Zumwalt» (постройки 2011 г. – по н.в.).

В объединенных энергетических системах указанных кораблей в качестве приводов генераторов используется различное сочетание газотурбогенераторов и дизель-генераторов, а в электроэнергетической системе для движения – повышенное напряжение, что продиктовано жесткими ограничениями по массе ГЭД.

Использование ОЭЭС предполагает одновременное решение *третьего и четвертого целевых предназначений ЭУ,*

обусловленных генерированием значительных объемов электроэнергии и ее распределением в обеспечение малолучных поисковых режимов ПЛО при работе ГЭД и в обеспечение функционирования перспективных энергоемких видов оружия и вооружения.

Практическая реализация обеих целей представляет собой сложную оптимизационную задачу, имеющую несколько прикладных направлений.

Так как объемы потребления электрической энергии перспективных видов вооружения могут быть соизмеримы с мощностью ГЭУ, это обстоятельство нацеливает конструкторов прибегать к необходимости существенного увеличения мощности электрогенераторов. Однако такое техническое решение входит в противоречие с ограничениями боевых кораблей по нагрузке масс, так как нецелесообразно в корпусе одного корабля разместить оборудование главной ЭУ и соизмеримое с ней по мощности вспомогательное оборудование электрогенераторов для работы перспективных боевых потребителей.

Очевидным выходом из сложившейся ситуации является переход боевых кораблей на объединенную электроэнергетическую систему, что и было реализовано в зарубежных ВМС на перечис-

ленных выше кораблях.

Распределение электроэнергии между наиболее емкими потребителями, такими как ГЭД, и боевыми потребителями осуществляется в зависимости от оперативно тактической ситуации, что наглядно показано в табл. 3 на примере ЭУ эсминца УРО «Zumwalt» [8, 9].

Наряду с неоспоримыми преимуществами использования ОЭЭС, такими как обеспечение малолучных поисковых режимов ПЛО, плавность и удобство изменения скорости хода корабля путем управления с ходового мостика, а также электроэнергией энергоемких потребителей оружия и вооружения, недостатками ОЭЭС являются, во-первых, значительные ограничения в скоростных (до скорости малого хода) и маневренных характеристиках при ведении боевых действий (табл. 3), во-вторых, существенное увеличение габаритов и массы по сравнению с ЭУ с прямодействующими приводами (не менее чем в 1,5 раза) в связи с появлением в ОЭЭС громоздких ГЭД, преобразователей частоты и трансформаторов и, в-третьих, значительным снижением экономичности ЭУ на больших ходах в связи с эффектом двойного преобразования электроэнергии. ■

Продолжение следует

21 мая 2022 года на заводские ходовые испытания вышел корвет «Меркурий» пр. 20380. Проект разработан в АО «ЦМКБ «Алмаз»



В качестве основного элемента системы очистки (СО) рабочего газа от примеси углекислого газа служит абсорбер, являющийся частью топливного процессора энергетической установки (ЭУ). Углекислый газ (CO_2) удаляется в абсорбере путем его растворения во внешней воде [1]. При этом задачу управления подачей воды в абсорбер формируют параметры внешней среды, исходя из условий обеспечения полной растворимости углекислого газа. Процессы растворения газа в абсорбере сопровождаются колебанием уровня воды внутри аппарата, что может привести к переполнению абсорбера водой и срыву работы СО [2].

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ РАБОЧЕГО ГАЗА

Независимо от алгоритмов управления насосом и питательным клапаном, реализуемых системой управления (СУ), регулирование дроссельным клапаном расхода (КР) обеспечивает допустимый по условиям маломощной работы питательного клапана перепад давлений.

С учетом того, что в абсорбере поддерживается давление газовой смеси на номинальном уровне, для обеспечения допустимого перепада давлений на питательном клапане (ПК) достаточно поддерживать давление на его выходе несколько ниже номинального давления в абсорбере. Это условие обеспечивается с помощью ПИ-регулятора давления, управляющего перемещением КР.

Сравнение вариантов алгоритмов управления, реализуемых СУ, проводилось для работы системы очистки рабочего газа от углекислого газа при давлениях внешней воды ниже и выше давления в абсорбере. В качестве основного возмущения рассматривалось синусоидальное изменение давления газа, подаваемого в абсорбер, с периодом колебаний $T_1 = 120$ с. Температура внешней воды принималась равной 10°C .

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ ПОДАЧЕЙ ВОДЫ В АБСОРБЕР ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛЯТОРА РАСХОДА С ЗАДАНИЕМ, ФОРМИРУЕМЫМ ПО ПАРАМЕТРАМ ВНЕШНЕЙ ВОДЫ

Функциональная схема канала управления насосом переменной производительности от регулятора расхода представлена на рис. 1.

Функциональный преобразователь 2 формирует на своем выходе заданное значение расхода воды, вычисленное в функции от температуры внешней воды t_v при постоянном давлении в абсорбере. Зависимость $G(t_v)$ выбрана из условия обеспечения растворения CO_2 во внешней воде в соответствии с [3].

Программа управления расходом воды, обеспечивающая возможность управления насосом переменной производительности в автоматическом (АУ) и ручном дистанционном (ДУ) режимах с возможностью безударного перехода с АУ на ДУ и обратно, представлена ниже.

```
//Развертка сигнала задания
if(rej==1) Graz=Gz; //Смон
else { d_raz=Gz-Graz;
      Graz=Graz+dt*sk_raz*Gmax*sign(d_raz);
    }
//АУ или ДУ
if((rej==2) || (rej==0)) {
  f_pam=f_raz;
  if(rej==0) f_raz=u_reg; //АУ
  if(rej==2) f_raz=Graz/Gmax; //ДУ
}
else f_raz=f_pam; //СТОП
if(rej>0) {ui=f_raz; u_reg=f_raz;} // СТОП или ДУ
else {
  delG=(Graz-G)/Gmax;
```

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОЧИСТКИ РАБОЧЕГО ГАЗА ОТ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА

А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
Д.М. Кучинский, канд. техн. наук, доцент,
Д.О. Глазырина, студент магистратуры, СПбГМТУ,
 контакт. тел. +7 (911) 299 9736, +7 (921) 384 0283, +7 (911) 785 3828

```
ui=ui+dt*Ki*delG;
if(ui>1) ui=1;
if(ui<0) ui=0;
up=Kp*delG;
u_reg=ui+up;
if(u_reg>1) u_reg=1;
if(u_reg<0) u_reg=0;
}
```

Здесь rej – сигнал от задатчика режима работы, принимающий значения: 0 – при задании режима АУ, 1 – при задании переходного режима СТОП, 2 – при задании режима ДУ; Gz , $Gmax$, $Graz$ – сигнал задания, его максимальное значение и его значение, развернутое во времени; G – сигнал от датчика расхода воды в абсорбер; dt – интервал дискретности расчета; sk_raz – скорость развертки сигнала задания во времени; f_raz , f_pam – задаваемое значение относительной частоты вращения электропривода и значение этого сигнала, хранящееся в памяти; u_reg , ui , up – сигнал из ПИ-регулятора расхода, его интегральная и пропорциональная составляющие; Ki , Kp – коэффициенты усиления интегральной и пропорциональной составляющих управляющего сигнала регулятора.

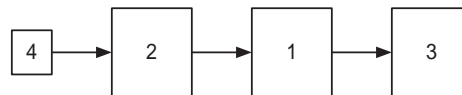


Рис. 1. Функциональная схема канала управления насосом переменной производительности

1 – регулятор расхода; 2 – функциональный преобразователь; 3 – привод насоса переменной производительности; 4 – датчик температуры внешней воды

Согласно функциональной схеме канала регулирования насоса переменной производительности, представленной на рис. 1, сигнал Gz формируется в функциональном преобразователе 2 в виде функции от значений температуры и давления внешней воды в соответствии с диаграммой растворимости [3] и из условия обеспечения полной растворимости углекислого газа во внешней воде.

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ СЛИВОМ ГАЗОВОДЯНОЙ СМЕСИ ИЗ АБСОРБЕРА ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛЯТОРА ПОСТОЯННОГО ДАВЛЕНИЯ

Функциональная схема канала управления ПК с помощью регулятора давления представлена на рис. 2.

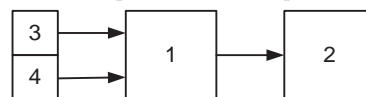


Рис. 2. Функциональная схема канала управления ПК от регулятора давления

1 – регулятор давления; 2 – привод ПК; 3 – датчик давления; 4 – задатчик давления

Программа управления давлением газовой смеси в абсорбере аналогична представленной выше. Регулятор давления реализует ПИ-закон регулирования в соответствии с представленными ниже уравнениями:

$$\frac{d(u_i)}{dt} = K_i \cdot del; \quad 0 \leq u_i \leq 1;$$

$$del = P_{sm} - P_z;$$

$$u_p = K_p \cdot del;$$

$$u_{reg} = u_i + u_p; 0 \leq u_{reg} \leq 1.$$

Здесь u_{reg} , u_i , u_p – сигналы на выходе регулятора давления, его интегральная и пропорциональная составляющие; K_p , K_i – коэффициенты усиления интегральной и пропорциональной составляющих управляющего сигнала; P_z , P_{sm} – заданное и фактическое давление газовой смеси.

На рис. 3 и рис. 4 представлены рассчитанные на основании приведенных выше моделей осциллограммы процессов изменения параметров СО и СУ при рассмотренном способе управления.

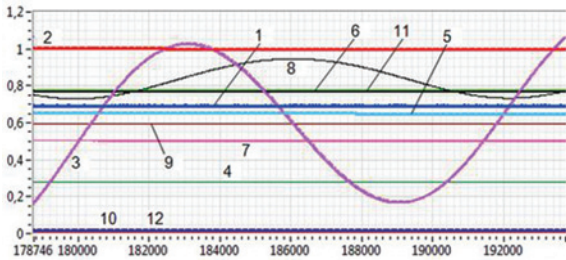


Рис. 3. Управление ПК от регулятора давления при давлении внешней воды 0,5 МПа

Здесь и далее приняты следующие обозначения шлейфов осциллограмм:

1 – относительный объемный расход воды на входе в абсорбер; 2 – относительное давление газовой смеси в абсорбере; 3 – уровень воды в абсорбере; 4 – относительное давление внешней воды; 5 – относительный напор насоса; 6 – относительные обороты насоса; 7 – относительная мощность насоса; 8 – относительный расход газа на входе в абсорбер; 9 – относительный расход рабочего газа из абсорбера; 10 – относительное перемещение клапана КР, регулирующего давление за ПК; 11 – относительное давление за ПК; 12 – относительное перемещение питательного клапана

Как видно из представленных осциллограмм, при поддержании заданных значений расхода воды в абсорбер (шлейф 1) и давления в абсорбере (шлейф 2), независимо от давления внешней воды (шлейф 4) под воздействием колебаний расхода газа, поступающего в абсорбер (шлейф 8), могут возникать колебания уровня воды в нем (шлейф 3), превышающие пределы, установленные по условиям его работы $0,15 < h_{yr} < 0,31$ м. Эти колебания могут приводить к переполнению абсорбера водой. Изменения уровня воды в абсорбере ограничиваются с помощью рассмотренных ниже способов управления узлом очистки.

Поддержание постоянного давления в абсорбере обеспечивает постоянный расход рабочего газа на его выходе (шлейф 9), благодаря постоянному перепаду давлений между абсорбером и ресивером, в который отбирается газ. Сохраняются постоянными также обороты, расход, напор и мощность насоса (шлейфы 1, 5, 6, 7)

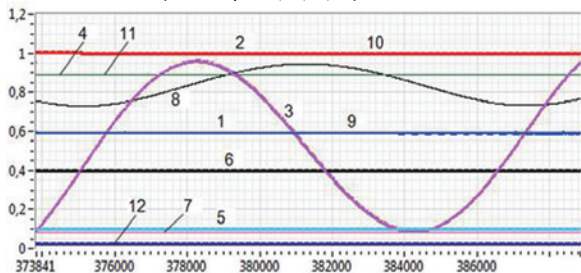


Рис. 4. Управление ПК от регулятора давления при давлении внешней воды 1,6 МПа

Следует отметить, что режим работы СО при давлении внешней воды $p_v = 0,5$ МПа является наиболее энергозатратным (шлейфы 7) по сравнению с режимами работы на более высоких уровнях давления внешней воды (шлейфы 4

на рис. 3 и рис. 4), поскольку на этом режиме насос должен развивать наибольший напор (шлейфы 5) при повышенных по сравнению с другими режимами расходах воды в абсорбер (шлейфы 1), требуемых по условиям полной растворимости CO_2 во внешней воде.

Малое открытие ПК, поддерживающего необходимое давление в абсорбере, обусловлено принятым нелинейным законом изменения площади его открытия от хода клапана ($F_{pk} = 20 \cdot \sqrt{h_{pk}}$).

Регулятор давления за ПК обеспечивает поддержание давления p_{pk} в пределах, позволяющих ПК функционировать с допустимым по условиям его маломощной работы перепадом давлений. При $p_v = 0,5$ МПа требуемое давление за ПК (шлейф 11) обеспечивается путем значительного прикрытия клапана КР (шлейф 10 на рис. 3). На режимах работы с $p_v > p_z$ клапан КР полностью открыт (шлейф 10 на рис. 4).

УПРАВЛЕНИЕ СЛИВОМ ВОДЫ ПОСРЕДСТВОМ РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ. ЗАДАЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АНАЛОГОВОГО РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ

Функциональная схема канала управления ПК от регулятора уровня, использующего сигнал от аналогового датчика уровня, представлена на рис. 5.

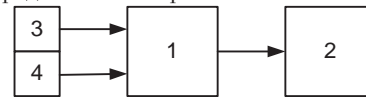


Рис. 5. Функциональная схема канала управления ПК от аналогового регулятора уровня

1 – регулятор уровня; 2 – привод ПК; 3 – датчик уровня; 4 – датчик уровня

Регулятор уровня так же, как и рассмотренный выше регулятор давления, использует соответствующую управляющую программу. При этом он уровня реализует ПИ-закон регулирования, используя аналоговый сигнал от датчика уровня.

Работа регулятора описывается следующими уравнениями:

$$del_h = \frac{h_{yr} - h_z}{h_{max}};$$

$$u_{yr} = K_p \cdot del_h; 0 \leq u_{yr} \leq 1.$$

Здесь h_z , h_{yr} – заданный и измеренный датчиком сигналы, пропорциональные уровню воды в абсорбере.

В рассматриваемом примере $h_z = 0,3$ м; u_{yr} – сигнал из регулятора уровня; K_p – коэффициент усиления; h_{max} – максимальный сигнал из датчика уровня.

Осциллограммы процессов изменения параметров узла очистки при рассматриваемом способе управления приведены на рис. 6 – 9.

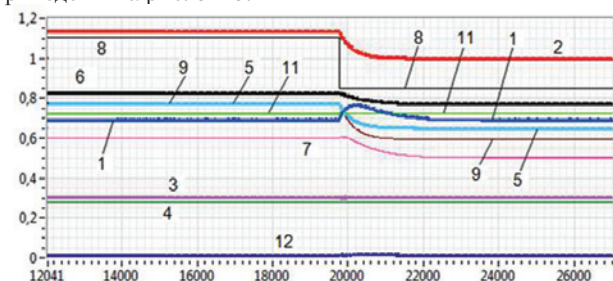


Рис. 6. Управление ПК от регулятора уровня при давлении внешней воды 0,5 МПа

При расчете осциллограмм, представленных на рис. 6 и рис. 7 моделирование работы абсорбера выполнялось в допущении, что расходные характеристики каналов подвода и отвода газа из абсорбера согласованы. Поэтому при отсутствии колебаний давления газовой смеси на входе в абсорбер $P_{вх}$ давление в абсорбере близко к назначенному (рис. 8). Колебания давления $P_{вх}$ около значения, соответствующего равносному режиму работы расходных сетей, приводит к колебаниям параметров абсорбера. При этом размах колеба-

ний параметров зависит от размаха колебаний давления газовой смеси, практически, не изменяясь с изменением давления внешней воды (см. рис. 6 и рис. 7).

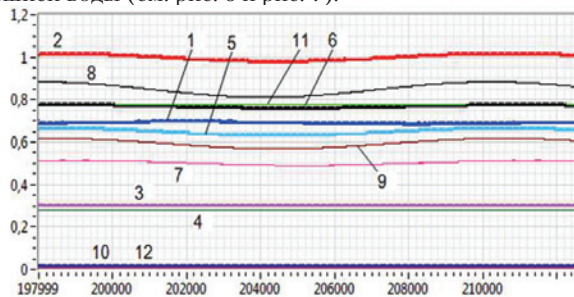


Рис. 7. Управление ПК от регулятора уровня при давлении внешней воды 1,6 МПа

Рис. 8 и рис. 9 иллюстрируют влияние на параметры абсорбера отклонения характеристик расходной сети от расчетных значений.

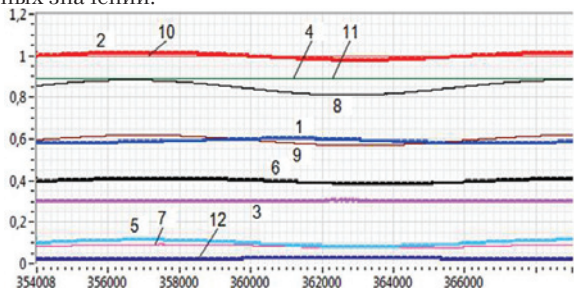


Рис. 8. Влияние изменения площади проходного сечения, через которое газовая смесь подается в абсорбер

При расчетных значениях давления $p_{вх}$ и площади проходного сечения сопла $F_{ср}$, через которое газовая смесь подается в абсорбер, давление газа в нем соответствует заданному уровню (см. рис. 6 при $t > 220$ с). Увеличение площади $F_{ср}$ на 30% по сравнению с расчетной приводит к увеличению поступления рабочего газа в абсорбер (шлейф 8) и как следствие – к росту давления p_r на 15% (шлейф 2 при $t < 200$ с).

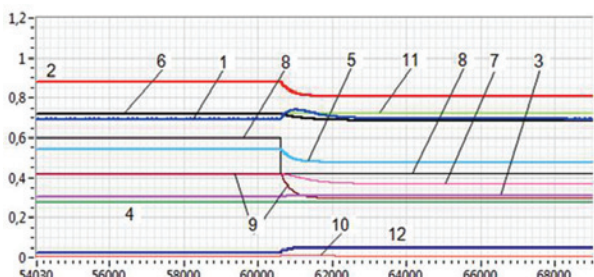


Рис. 9. Влияние изменения давления синтез-газа перед абсорбером на изменение параметров абсорбера при давлении внешней воды 0,5 МПа

Уменьшение $p_{вх}$ на 0,1 МПа приводит к уменьшению p_r на 12% по сравнению с назначенным значением (шлейф 2 при $t < 608$ с). При уменьшении $p_{вх}$ на 0,15 МПа давление p_r уменьшается на 20% (шлейф 2 при $t > 620$ с).

ЗАДАЧА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ

На рис. 10 представлена функциональная схема канала управления ПК от регулятора уровня, использующего сигнал от сигнализатора верхнего уровня.

Управляющий сигнал, поступающий из дискретного регулятора уровня, формируется на основании дискретного сигнала от сигнализатора верхнего уровня воды в абсорбере.

Сигнализатор верхнего уровня срабатывает при превышении уровнем воды в абсорбере значения h_{max} , устанавливаемого по условиям безопасной работы абсорбера. В рассматриваемом примере $h_{max} = 0,35$ м.



Рис. 10. Функциональная схема канала управления ПК от дискретного регулятора уровня
1 – регулятор уровня; 2 – привод ПК; 3 – сигнализатор верхнего уровня

Управляющий сигнал на выходе регулятора, поступающий на привод регулирующего клапана, формируется в соответствии со следующими зависимостями:

$$h_{verh} = \begin{cases} 1, & \text{при } h_{yr} \geq h_{max}; \\ 0, & \text{при } h_{yr} < h_{max}; \end{cases}$$

$$h_z = \begin{cases} 1, & \text{при } h_{verh} = 1; \\ 0, & \text{при } h_{verh} = 0; \end{cases}$$

Здесь h_{verh} – сигнал от сигнализатора верхнего уровня; h_z – сигнал, управляющий перемещением привода ПК; h_{yr} – уровень воды в абсорбере, его максимально допустимое значение.

Работа дискретного регулятора уровня при оговоренных выше условиях и $p_v = 0,5$ МПа представлена на рис. 11 и рис. 12.

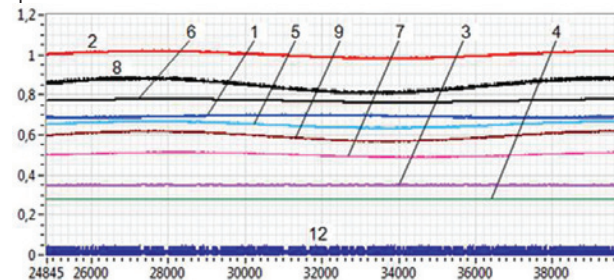


Рис. 11. Дискретный регулятор уровня при давлении внешней воды 0,5 МПа

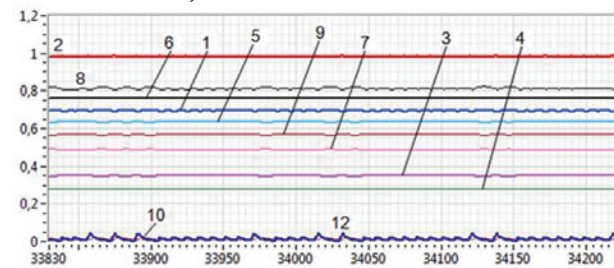


Рис. 12. Фрагмент рис. 11

Как видно из рис. 11, использование дискретного регулятора уровня, формирующего управляющий сигнал с помощью сигнализатора верхнего уровня воды в абсорбере, позволяет удерживать заданный уровень воды в нем без колебаний параметров абсорбера в случае достаточно высокого быстродействия привода ПК.

В рассматриваемом примере $sk_{max} = 200\%/с$. Однако необходимо отметить, что в таком режиме формирования управляющих сигналов на привод регулирующего клапана привод находится под нагрузкой при длительных режимах работы, что может привести к снижению безаварийной эксплуатации регулирующего клапана, кроме того, при таком способе регулирования уровня воды в абсорбере возможны колебания контролируемых параметров, что, в свою очередь, приводит к снижению запаса устойчивости объекта управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Улучшение условий растворения CO_2 во внешней воде, подаваемой в абсорбер, может быть достигнуто при управлении отбором воды из него с помощью сигналов от регулятора давления, ограничиваемых по условиям сохранения требуемого уровня воды в абсорбере. При этом для повышения продол-

жительности и точности поддержания назначенного давления в абсорбере рекомендуется корректировать сигнал заданного давления по условиям изменения уровня за установленные пределы, увеличивая или уменьшая его в зависимости от выхода уровня за верхний или нижний допустимые пределы. Продолжительность поддержания назначенного давления в абсорбере может быть также увеличена за счет изменения конструктивных характеристик абсорбера: увеличения объема его емкости, заполненной водой, и увеличения диапазона допустимого изменения уровня воды.

ВВЕДЕНИЕ

Скрытность применения морского подводного оружия в упреждающей атаке противника – неотъемлемое требование к комплексам выстреливания подводных лодок.

В США была проведена количественная оценка уровней подводного шума при выстреле торпеды пневмогидравлическими стреляющими устройствами турбинного и поршневого типа (Центр систем морского оружия ВМС США, Ньюпорт, Род-Айленд, NUSC)) на наземном стенде. Обработка данных, их анализ, оценка и сравнение были выполнены Научно-исследовательским центром (NSRDC) [1]. Были проведены:

1. Анализ переходных процессов сигнала в третьоктавной полосе, в том числе:

- кратковременные пики, потенциально идентифицируемые с характерными процессами цикла выстрела;
- симметричность переходного процесса (энергетически равные полупериоды);
- длительность переходного процесса;
- временная полосовая развертка переходного процесса;
- повторяемость (или воспроизводимость) характерных процессов цикла выстрела.

2. Узкополосный анализ переходных процессов сигналов для определения наличия линейчатых спектров для основных частот и гармонических частот, связанных с турбиной, зубчатыми колесами и т. д.

3. Спектральный анализ во временной последовательности, показывающий изменение характера сигнала, т. е. трехмерной амплитуды, частоты, времени, формы сигнала.

4. Статистический анализ (с использованием базы данных шумов выстрелов) для выделения дискретных сигналов из широкополосного вибрационного и шумового фона.

Кроме того, выполнены звуковой портрет (характеристики сигнала), амплитуда спектра записанная как нормированная черно-белая цветовая гамма (а не с точки зрения абсолютной величины амплитуд спектра сигнала).

Дана совокупная широкополосная характеристика сигнала как функция времени.

Проведена взаимная корреляция и/или кросс-спектральная плотность переходных процессов сигналов для выделения дискретных сигналов из широкополосного шумового фона и определения когерентности сигналов вибрации и акустического шума.

Вторичной целью было определение путей передачи акустических сигналов от источников их излучений в пусковых системах в среду и оценка относительных вкладов виброакустических источников в сравниваемые переходные процессы.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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 – 84.
2. Балакин А.В., Дядик А.Н., Кармазин А.С., Ларионов М.В., Сурин С.Н. Упрощенная имитационная модель топливного процессора в составе воздухонезависимых энергетических установок // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4 (50). – Т.1. – С. 244 – 249.
3. Коуль А.Л., Ризенфельд Ф.С. Очистка газа. – М.: Недра, 1968. – 392 с. ■

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НАСОСНЫХ СТРЕЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ НА КОРАБЛЯХ ВМС США

В.Г. Михлин, канд. техн. наук, доцент,
А.А. Румянцев, ст. науч. сотрудник,
Н.Н. Семенов, доцент, СПбГМТУ,
И.А. Шавырин, советник директора АО «Дагдизель»,
valeriy_mikhlin@mail.ru, eterfinitiy@yandex.ru, nick.semenoff@gmail.com, gorynych09710@mail.ru

В начале 1970 г. под руководством Роберта К. Вайта (Robert C. White) началась разработка турбонасосной пневмогидравлической системы стрельбы для торпедных аппаратов (ТА). Создана экспериментальная установка в NUWC(г. Ньюпорт). В стендовых условиях была показана работоспособность такой установки, и, по оценкам специалистов, она имела более низкий (чем поршневая установка) уровень создаваемых при выстреле подводных шумов (пневмотурбинная система выстреливания – ТРЕ; Mk-17 Mod 0).

Схема группового гидравлического торпедного аппарата с пневмотурбинной силовой установкой приведена на рис. 1.

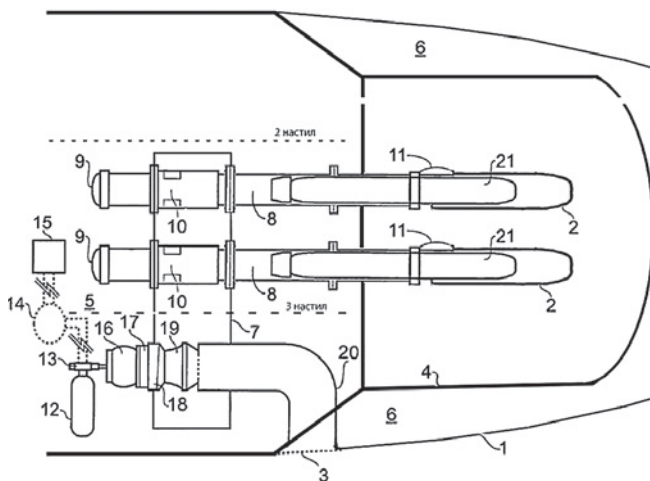


Рис. 1. Схема группового гидравлического торпедного аппарата с пневмотурбинной силовой установкой
 1 – легкий корпус ПЛ; 2 – волнорезный щит ТА; 3 – кингстон ИЦ; 4 – прочный корпус ПЛ; 5 – торпедное помещение; 6 – междуортное пространство (между легким и прочным корпусами ПЛ); 7 – импульсная цистерна; 8 – передняя труба ТА; 9 – задняя крышка ТА; 10 – средняя труба ТА с кингстоном; 11 – передняя крышка ТА; 12 – боевой баллон; 13 – боевой клапан; 14 – контур управления боевым клапаном; 15 – система дистанционного автоматизированного управления ТА; 16 – пневмотурбина; 17 – понижающий редуктор; 18 – переборочный стакан; 19 – гидронасос; 20 – труба (водоток) для заполнения импульсной цистерны (ИЦ); 21 – выстреливаемый боезапас

Практика применения такой системы стрельбы на подводных лодках ВМС США выявила следующие основные недостатки:

- система с пневмогидравлической турбинной силовой установкой использует в качестве рабочего тела воздух высокого давления, который, выходя из пневмотурбины в глушитель, создает сильный шум;
- после стрельбы требуется запуск компрессора для снятия давления с отсека подводной лодки;
- слабым узлом системы является сальник вала турбины проходящий через прочный корпус ПЛ;
- воздушная турбина после выстрела на выбеге создает дополнительный шум.

Работы по совершенствованию пневмогидравлической турбинной системы выстреливания продолжились в 1980 г. в NUWC под техническим руководством Билла Мак Инниса (Bill Mac Innis) в рамках программы TPES Mk-19 (рис. 2). Целью этой программы было улучшение всех показателей эффективности системы выстреливания примерно на 50%, по сравнению с системой выстреливания Mk-17 Mod 0.

Необходимо отметить наличие в агрегате редуктора (рис. 3), который создает дополнительный шум.

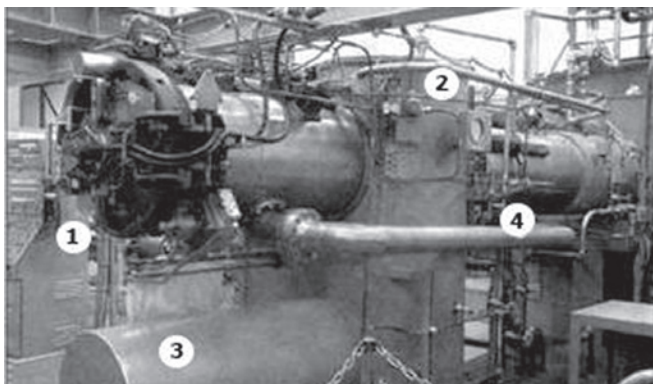


Рис. 2. Торпедный аппарат с системой стрельбы Mk-19 в учебном центре подготовки экипажей
1 – задняя крышка ТА, 2 – выгорodka импульсной цистерны, 3 – корпус пневматической турбины Mk-19, 4 – труба заднего клапана осушения, 5 – задняя труба ТА

Следующим шагом было создание системы стрельбы Mk-21. Основная цель разработки которой кардинальное снижение шумности производства выстрела.

В США компания Barber-Nichols Inc. производит турбонасосные пневмогидроагрегаты для стреляющих устройств торпедных аппаратов атомных подводных лодок ВМС США [2]. В 1989 г. специалисты Barber-Nichols Inc. (BNI) и Northern Research разработали пневмогидроагрегат с десятиступенчатой турбиной для системы стрельбы Mk-21 (рис. 4 – 6).



Рис. 3. Редуктор турбинной силовой установки Mk-19 (Torpedo Ejection Systems Gearing) компании Cincinnati Gearing Systems



Рис. 4. Турбонасосный гидроагрегат Mk-21 в сборочном цехе компании Barber-Nichols Inc.



Рис. 5. Трубы торпедного аппарата, горловина для установки стреляющего устройства (СУ) и турбонасосный гидроагрегат на АПЛ «Индиана»

На рис. 7 приведены фотографии рабочего колеса насоса и одной ступени турбины агрегата.

Однако даже такое технологически сложное решение, направленное на существенное снижение шумности выстреливания оружия, сохранило характерные виброакустические параметры, которые позволяют эффективно идентифицировать шумы и классифицировать их как отделение морского подводного оружия от носителя. Среди основных классификационных признаков остаются шумы рабочего тела – воздуха высокого давления, вызванные его истечением.

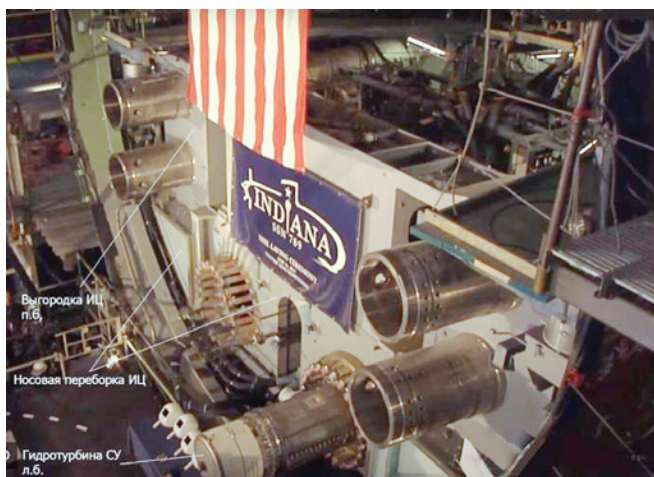


Рис. 6. Выгородка импульсной цистерны (ИЦ), носовая переборка и турбонасосный гидроагрегат на АПЛ «Индиана»

Необходимо отметить, что для американских изделий характерна скорость отделения оружия от торпедного аппарата порядка 12 м/с при массе изделия 1600 кг и длине 6,5 м, что предопределяет реализуемую мощность в 2,5 МВт.

В дальнейшем для кардинального снижения шумности специалистами предлагается разработать электрогидравлический способ выстреливания морского противолодочного оружия, который исключает применение воздуха высокого давления в качестве рабочего тела. В статье отмечается перспективность применения данного способа построения стреляющего устройства, что отвечает современным требованиям к выпуску/приему АНПА с подводной лодки.

В некоторых источниках информации сообщается о проведении в 2003–2007 гг. опытно-конструкторской работы, направленной на замену турбонасосной силовой установки на электронасосную (Rotary Electromagnetic Launcher System – REML).

Электронасосная силовая установка (электронасос должен был работать с серийным гидроагрегатом Mk-21) позволяет полностью устранить проблему, связанную с шумами, порождаемыми движением воздуха высокого давления по трубопроводам и выходящими на сброс в глушитель, а также с шумами воздушной турбины. Однако после 2007 г. упоминаний о электронасосной установке в зарубежных источниках не встречается, что может говорить или о прекращении работ или о засекречивании публикаций по этому вопросу. Кроме этого, в 2003–2006 г. были выполнены работы по альтернативным методам запуска оружия, в частности по оснащению ТА АПЛ типа «Virginia» эластомерными силовыми установками (EES – Elastomeric Ejection System).

Представляется необходимым в ближайшем будущем проведение исследований по созданию пусковых установок с низкой шумностью. В первом приближении в осно-

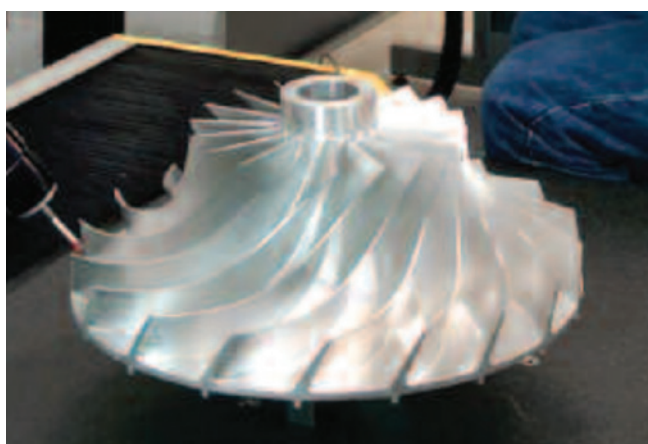
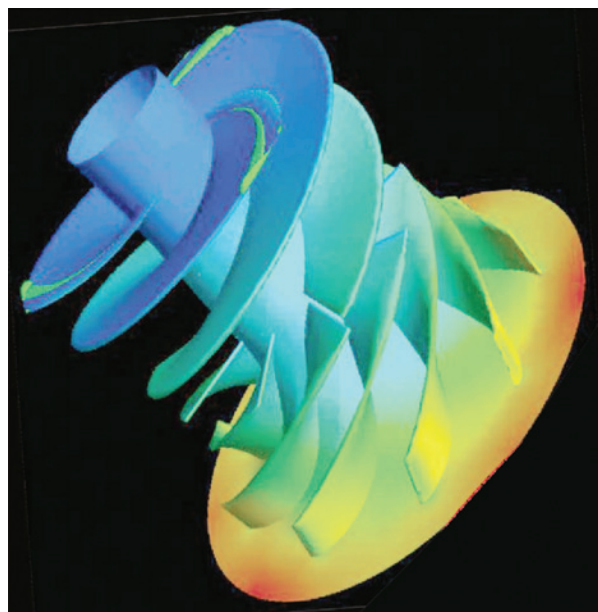


Рис. 7. Рабочее колесо насоса и ступень пневмотурбины стреляющего устройства торпедного аппарата

ву могут быть положены электрогидравлические силовые установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лейбовиц Р., Лоуренс Дж. Виброакустический анализ нестационарных сигналов для систем запуска лопастных турбин и поршневых насосов. – Центр исследований и разработок военно-морских кораблей Клаттербак Бетесда, Мэриленд.
2. Официальный сайт компании Barber Nichols – www.barber-nichols.com
3. Алферьев М.Я., Мадорский Г. С. Транспортные катамараны внутреннего плавания. – М.: Транспорт, 1975. – 336 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей части статьи мы продемонстрировали проведение кинематического анализа манипуляторного устройства (МУ) МГМ-7 как неотъемлемой части исследовательской деятельности по определению рабочих зон робототехнического изделия путем решения прямой задачи кинематики.

В данной части мы ставим перед собой цель продемонстрировать проведение прочностного расчета, а также топологической оптимизации с использованием метода конечных элементов (МКЭ) на примере одной из деталей МУ МГМ-7 (рис. 1).

В рамках проведения проектно-конструкторских изысканий по разработке и созданию сложных технических устройств в соответствии с индивидуальными требованиями заказчика задействуются современные инструменты моделирования и анализа с использованием цифровых двойников физических объектов. Данный подход позволяет на ранних стадиях разработки выявить неочевидные особенности изготовления и эксплуатации исследуемого объекта, а также добиться его оптимальных характеристик и обеспечить безотказность работы изделия в течение всего срока службы.

МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (МКЭ)

МКЭ представляет собой метод аппроксимации исследуемой величины вариационной задачи кусочно-непрерывными функциями в конечном количестве точек исследуемых элементов посредством решения систем дифференциальных уравнений с частными производными [1]. Это один из наиболее распространенных мето-

РАСЧЕТ ГЛУБОКОВОДНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МАНИПУЛЯТОРА МГМ-7*

ЧАСТЬ 2. ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ И ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

*В.С. Кожезников, зам. ген. директора АО «МНС»,
В.В. Потехин, канд. техн. наук, доцент ВШ КФСУ,
П.К. Смирнов, инженер АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840*

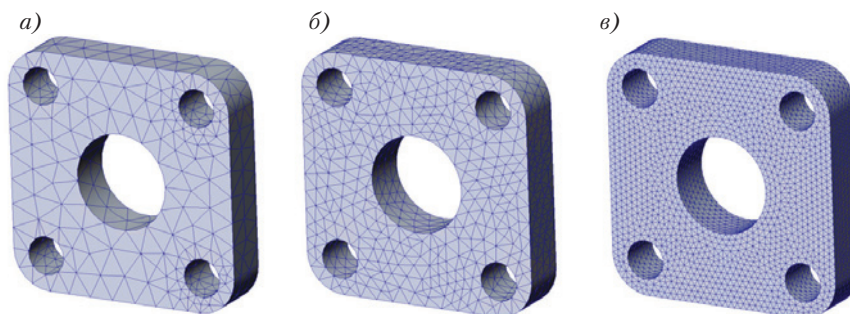


Рис. 2. Наложение сетки разной плотности по МКЭ: а – грубая сетка; б – уточненная сетка; в – высокоточная сетка на основе смешанной кривизны

дов при решении статических задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидродинамики и др. Ввиду сложности расчетов МКЭ целесообразно проводить с использованием программных комплексов компьютерного инженерного анализа на мощных электронно-вычислительных машинах.

Решение линейных стационарных задач МКЭ сводится к дискретизации стереометрических моделей с помощью геометрических фигур: призм, пирамид, тетраэдров и гексаэдров. Данные элементы фиксируются друг с другом с помощью узлов, которые приходятся на вершины построенных геометрических объектов. Расчет значений внутри исследуемых областей происходит с

учетом рассматриваемой непрерывной величины в узлах, а также аппроксимирующей функции. Важными характеристиками выстраиваемой дискретной сетки являются ее плотность и способ наложения, которые определяют точность расчетов (рис. 2).

После дискретизации модель представляет собой совокупность конструктивных элементов, объединяемых конечным числом узловых точек. Свойства и поведение симулируемой модели определяются при известных соотношениях сил и перемещений для каждого элемента. В итоге МКЭ позволяет решать прикладные задачи для заданных областей в виде множества функций, которые определяются на конечных элементах.

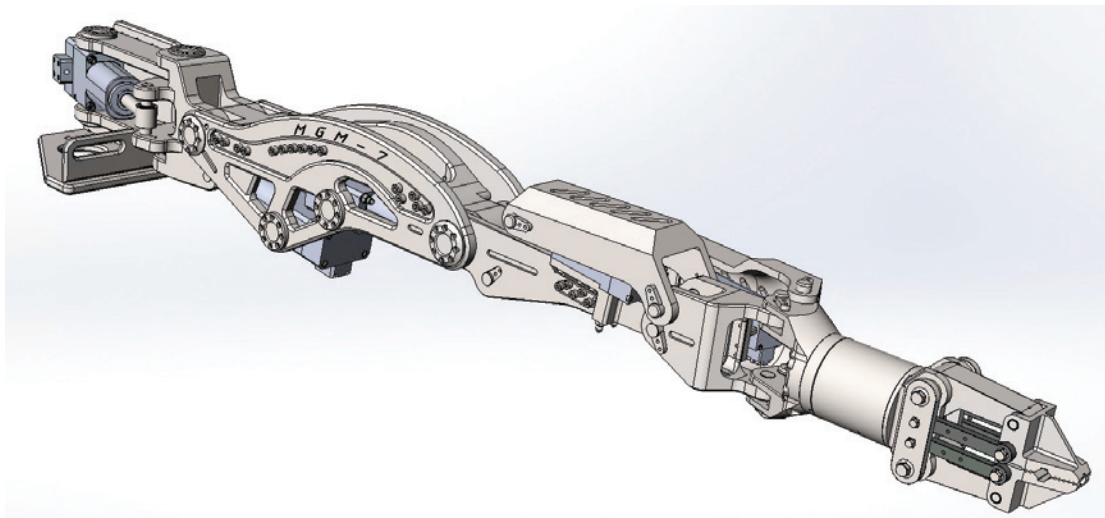


Рис. 1. Цифровая модель МГМ-7

*Продолжение. Начало – см. «Морской вестник», 2021, № 4(80).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачи по снижению материалоемкости изделий – чрезвычайно актуальны и решаются за счет проведения топологических исследований. В связи с этим выполняются теоретические и прикладные исследования в области оптимизации формы и структуры конструкций [2]. Современные вычислительные комплексы позволяют успешно проводить топологическую оптимизацию с использованием МКЭ.

$$F_{\text{пост}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{порш}}^2 p_{\text{атм}},$$

$$F_{\text{возвр}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{порш}}^2 - D_{\text{штока}}^2) p_{\text{атм}},$$

где $D_{\text{штока}}$ – диаметр штока, $D_{\text{порш}}$ – диаметр поршня.

В качестве материала исследуемой детали МУ МГМ-7 зададим титан марки ПТ-3В. Данный сплав широко применяется в промышленности при конструировании изделий, обладающих высокими показателями прочнос-

тупательным движением поршня. Изначальная масса заготовки составляет 4,731 кг.

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ

В прочностном расчете основополагающее значение имеет закон равновесия сил. Задача инженера-прочности сводится к проектированию конструкций, которые способны выдержать действие различных эксплуатационных нагрузок. Несмотря на то, что силы и моменты могут создаваться не только статическими нагрузками, сама конструкция должна оставаться устойчивой, а, значит, силы, действующие на элемент конструкции в определенных плоскостях, должны уравниваться [3]. Для выполнения этого условия суммарное действие всех сил, приложенных к телу, должно быть равно нулю, равно как и сумма моментов всех внешних сил, действующих относительно любой оси:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{0};$$

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = \vec{0}.$$

Проведем статический расчет детали при воздействии силы $F_{\text{пост}}$ со стороны ГЦ. Рабочую нагрузку бу-

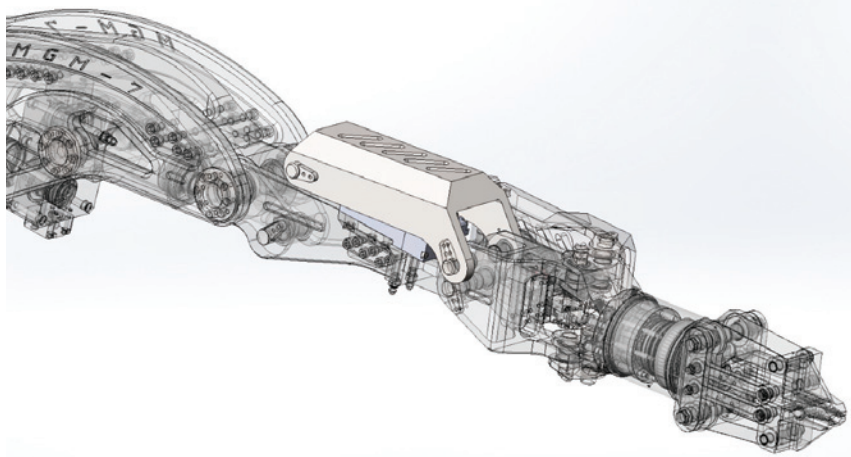


Рис. 3. Деталь МУ МГМ-7 для анализа

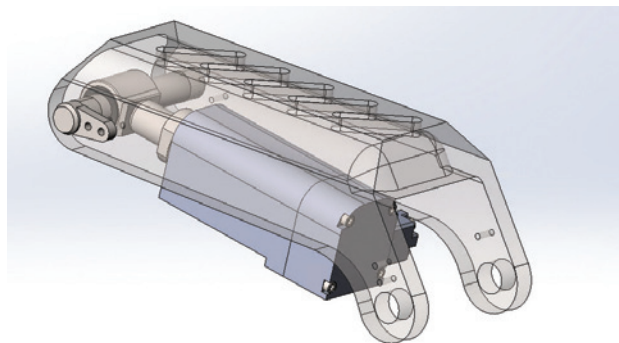


Рис. 4. Нагрузки на деталь передаются от ГЦ

Пусть перед нами стоит задача оптимизации конструкции гидравлического МУ МГМ-7 при условии эксплуатации в системе с максимальным давлением рабочей жидкости 150 атм. Рассмотрим упрощение одного из звеньев по массе с сохранением его прочностных характеристик (рис. 3).

Выполним расчет статических нагрузок, которые претерпевает данная деталь при взаимодействии с гидравлическим цилиндром (ГЦ) при условии максимального давления в системе (рис. 4).

При поступательном движении ГЦ работает поршневая полость, а при возвратном – штоковая. Тогда силы поступательного и возвратного движений ГЦ будут определяться следующим образом:

ти, а также высоким сопротивлением малым пластическим деформациям, хрупкому и усталостному разрушениям.

В рамках данной статьи при проведении расчетов ограничимся пос-

дем задавать при параболическом распределении векторов сил. Зададим фиксированной геометрией в местах крепления детали к МУ. Согласно МКЭ построим высокоточную сетку на основе смешанной кривизны конс-

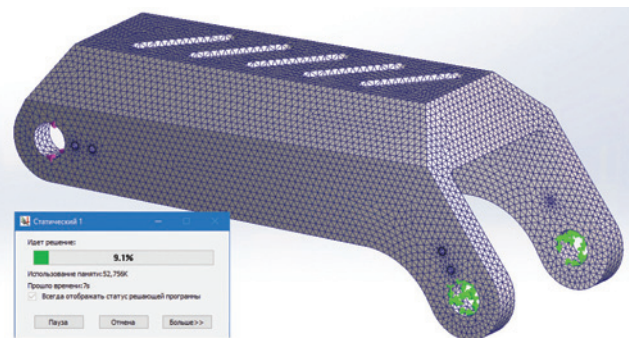


Рис. 5. Подготовка модели к симуляции и запуску исследования

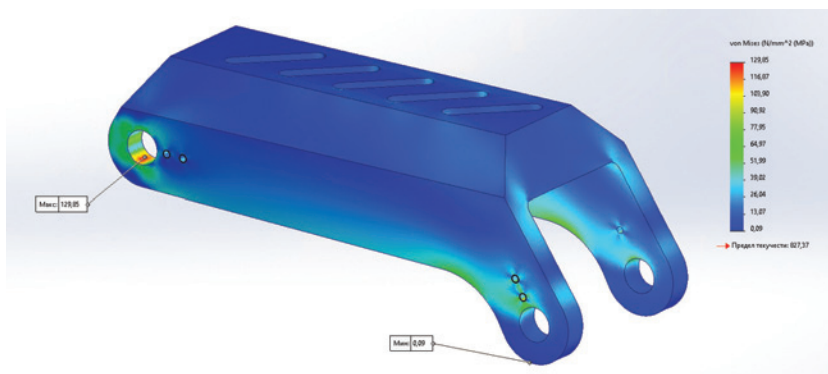


Рис. 6. Этора напряжений детали под нагрузкой

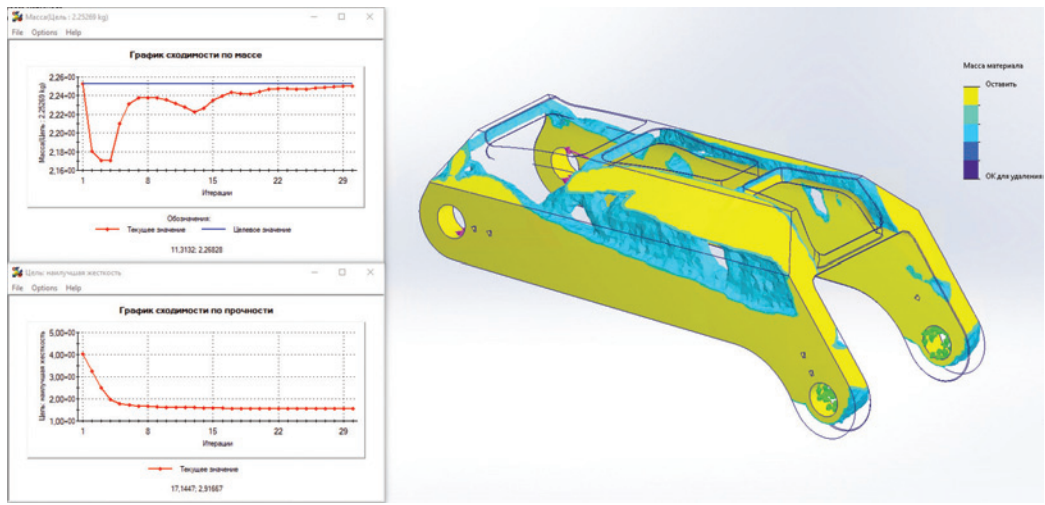


Рис. 7. Данные сходимости исследования и предлагаемая оптимальная модель

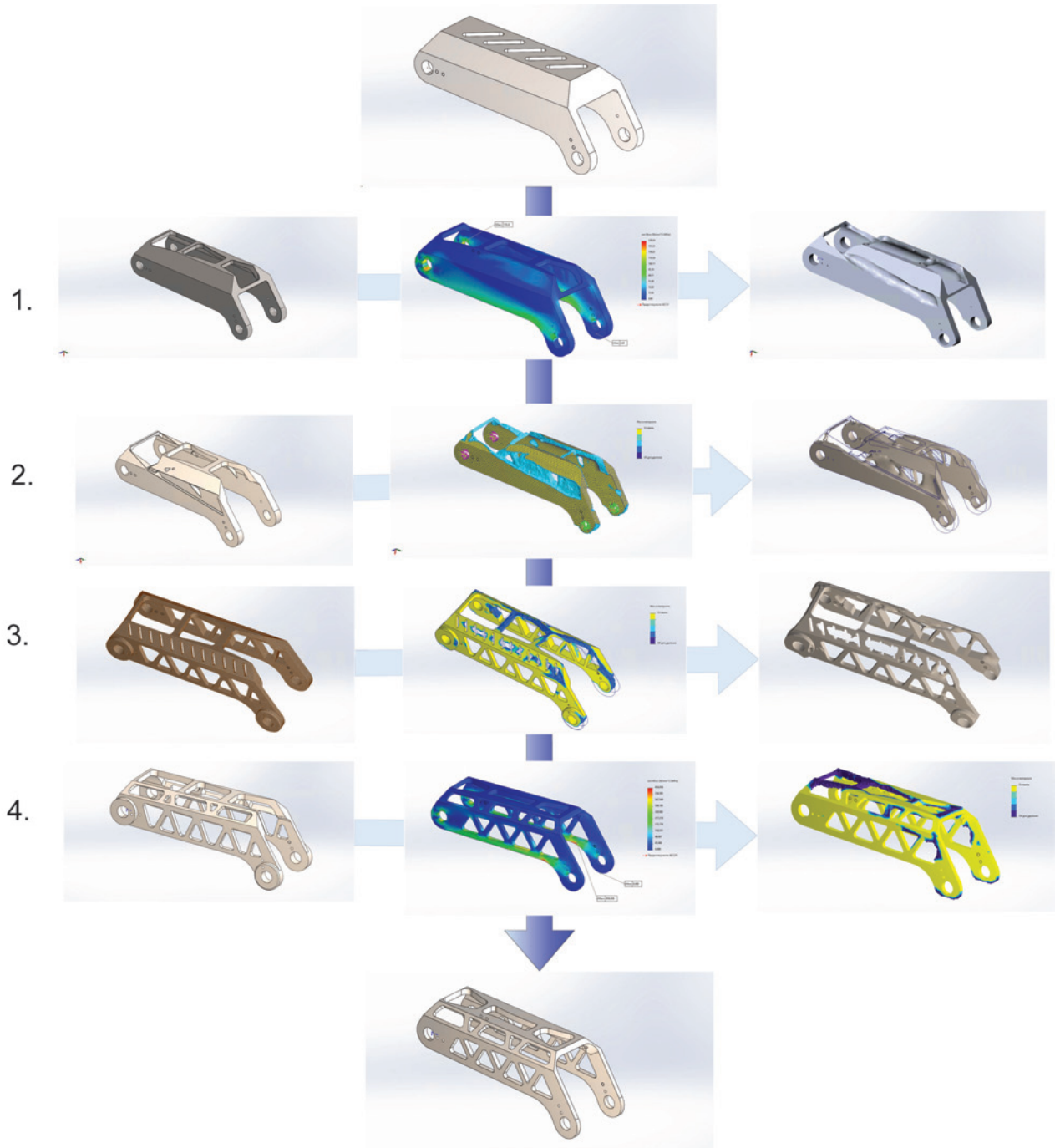


Рис. 8. Процесс оптимизации конструкции

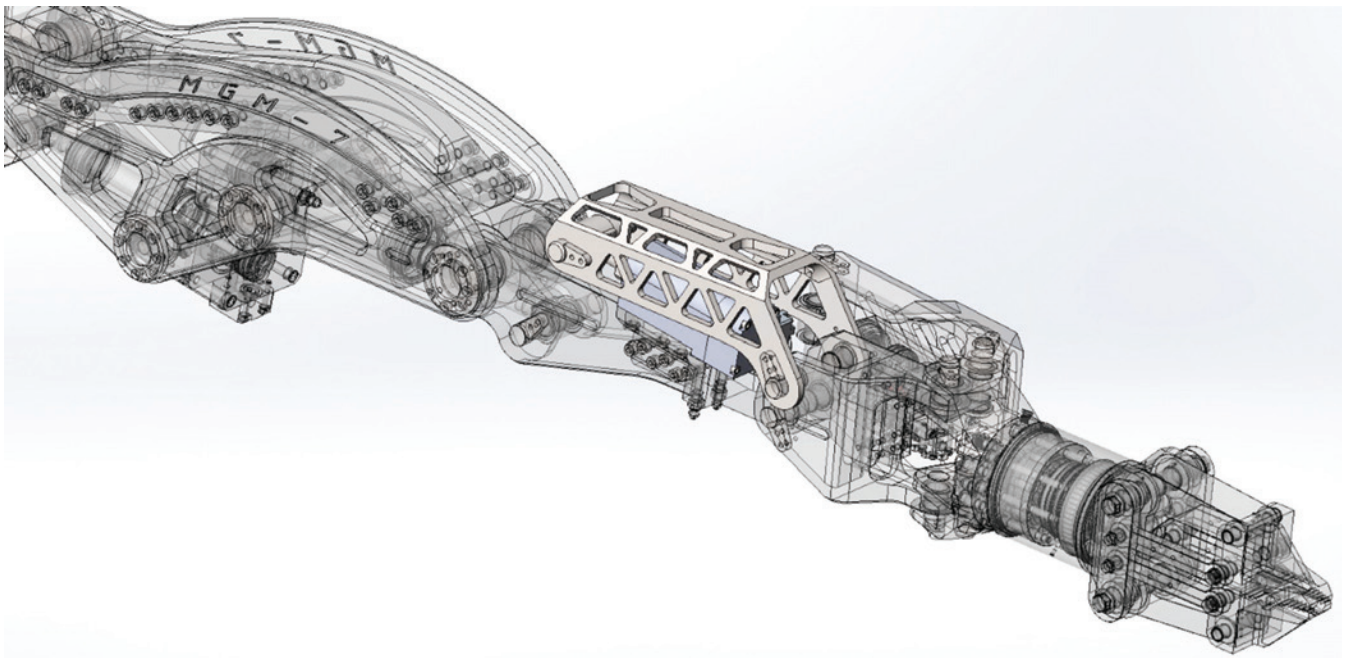


Рис. 9. Оптимизированная деталь в составе модели МУ МГМ-7

струкции с точками Якобиана в ее узлах и запустим исследование (рис. 5).

Эпюра напряженно-деформированного состояния рассматриваемого звена МУ показывает максимально (красным) и минимально (синим) нагруженные точки (рис. 6).

Предел текучести сплава титана ПТ-3В составляет 827 МПа, что говорит о практически 7-кратном запасе прочности конструкции. Следовательно, имеется потенциал для оптимизации массы изделия с сохранением необходимой прочности.

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Под топологической оптимизацией понимают процесс изменения конструкции детали при заданном критерии оптимальности с сохранением или улучшением ее функционала. Существуют различные подходы в его реализации, мы же рассмотрим анализ на основе МКЭ.

Для проведения расчета вновь зададимся теми же условиями нагрузок и материалом, а также проведем дискретизацию модели и построим сетку повышенной плотности. Запустим исследование и проанализируем результат (рис. 7).

Подход к оптимизации конструкции является итеративным и требует проведения исследований с циклическим перерасчетом прочности. В результате серий вычислительных операций выявляется качественная модель, отвечающая требованиям по соотношению массы и прочности (рис. 8).

Полученные на ранних этапах проектирования эффективные модели позволяют не только экономить на используемом материале, но и достигать изящных, с точки зрения дизайна, форм изделий в составе всего МУ МГМ-7 при полном сохранении их функционала (рис. 9).

ВЫВОД

В результате проведенных изысканий по оптимизации конструкции исследуемой детали было достигнуто уменьшение массы с 4,731 кг до 1,463 кг (на 70%) с сохранением прочности. Данный подход был реализован с использованием современных вычислительных средств на основе метода конечных элементов.

Топологический анализ вкупе с прочностным расчетом позволяют значительно повысить конкурентоспособность изделий за счет удовлетворения желаемых потребностей за-

казчика и экономии ресурсов при производстве посредством выявления и усиления наиболее нагруженных мест и, наоборот, облегчения зон с максимальным запасом по прочности.

Важно отметить, что данная работа выполнялась исключительно в исследовательских целях для демонстрации возможностей расчетов МКЭ с применением средств автоматизированного проектирования. Коммерческая целесообразность применения результатов в производстве должна быть обоснована технико-экономическим анализом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сабоннадьер Ж.-К., Кулон Ж.-Л.* Метод конечных элементов и САПР/ Пер. с франц. – М.: Мир, 1989. – 190 с.
2. *Супотницкий Е.С., Курносов В.Е., Андреева Т.В.* Топологическая оптимизация конструкций в области проектирования // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 3–2. – С. 91–95.
3. *Данилов В.К.* Инженерная механика: основы расчета на прочность. – Л., 1984. ■

МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕПАРАТОРА СУХОЙ ИНЕРЦИОННОЙ ОЧИСТКИ

М.А. Баранов, инженер-конструктор 2-й категории,
аспирант ФГАОУ ВО СПбПУ,
контакт. тел. +7 (931) 378 7079

Компания ООО «Винета» является разработчиком инерционного сепаратора, предназначенного для очистки атмосферного воздуха, подаваемого в компрессоры газотурбинного привода для защиты его лопаточного аппарата от абразивного износа. Сепаратор должен эффективно очищать воздух в условиях запыленности, снежных бурь и ветра. Важно отметить, что сепаратор ООО «Винета» изготовлен только из неметаллических композитных материалов. Это позволяет улучшить массогабаритные характеристики по сравнению с его металлическими аналогами [3].

В новых условиях разработка и производство российских инновационных газоочистных устройств приобретает особую актуальность, так как лидерами в производстве в данной области пока являются иностранные компании, такие как Premaberg LTD. В связи с этим ООО «Винета» активно разрабатывает и модернизирует данные устройства, ориентируясь на первом этапе на потребности внутреннего рынка России.

В настоящее время ООО «Винета» работает над конструкцией трехсекционного сепаратора сухой инерционной очистки, в котором используются три ступени: две секции инерционной сепарации и фильтрующая кассета с фильтром-коагулятором для тонкой очистки поступающего в двигатель воздуха. Он позволяет эффективнее сепарировать загрязнители от воздуха. Пример конструкции трехступенчатого сепаратора представлен на рис. 1.

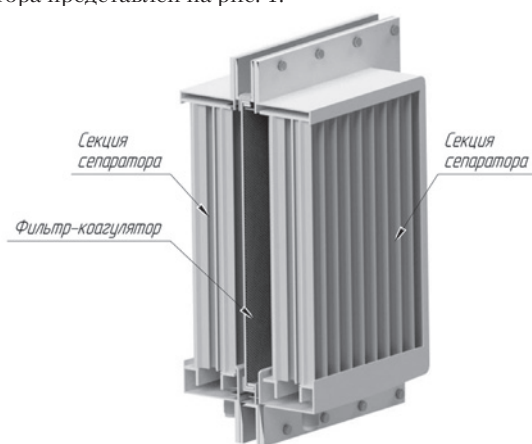


Рис. 1. Испытательный макет сепаратора инерционной очистки

В связи с глубокой модернизацией технологического производства в ООО «Винета» проведены исследования с целью разработки инновационного технологического процесса изготовления лопаток сепаратора. Изготовление тонкостенных элементов сложной формы, имеющих в конструкции элементов воздухоочистных устройств, – сложная задача в связи с высокой трудоемкостью. Принципиальная схема инерционного сепаратора воздуха представлена на рис. 2.

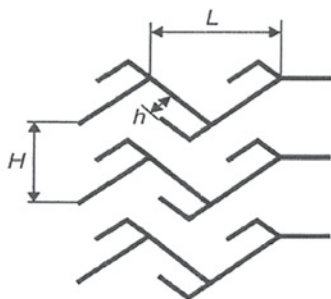


Рис. 2. Принципиальная схема инерционного сепаратора

В ходе исследований было выявлено, что применение стеклопластика на полиэфирном связующем (методом контактно-

го формования) для изготовления элементов толщиной 2 мм, даже на тонкой ткани, не позволяет достичь необходимую точность формы и прочность. Изготовление таких элементов методом вакуумной инфузии не обеспечивает повторяемости и является весьма длительным процессом.

Также выяснилось, что создание термопластичного препрега этого материала представляет собой не менее сложную задачу. Высокая вязкость связующего материала значительно ухудшает качество пропитки армирующего компонента им, при применении расплавной технологии пропитки высокая вероятность возникновения барьерного слоя между матрицей и наполнителем – армирующий материал остается «сухим», что становится причиной низких или нестабильных физико-механических свойств [1].

Расплавная технология получения препрега является энергоемким процессом. Последующее прессование пластика из такого препрега практически не влияет на глубину пропитки, хотя возможна предварительная подготовка поверхности аправами, но это значительно осложняет процесс производства материала. Возможно изготовление препрега по волоконной технологии, но аморфные термопласты не склонны к волокнообразованию, кроме того, данная технология требует использования специализированного оборудования [2]. Применение растворной технологии пропитки дает лучший результат, но это технологически сложный многостадийный процесс, требующий наличия сложных рекуперационных устройств, проведения пропитки в несколько этапов при тщательном подборе растворителя. Данное обстоятельство ограничивает круг потенциальных поставщиков препрега. Оснастка для изготовления представлена на рис. 3.

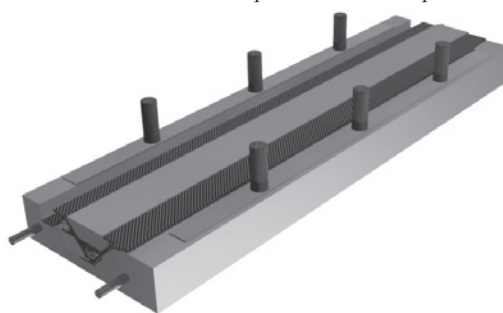


Рис. 3. Приспособление для сборки и склеивания лопаток сепаратора в открытом виде (в приспособлении выставлены детали лопатки сепаратора)

Необходимо отметить и сложность сборки узлов из деталей, изготовленных из термопластичных композиционных материалов вследствие инертности большинства термопластов. Применение термической сварки вне лабораторных условий не всегда технически реализуемо, как из-за конфигурации и толщины деталей, так и потому, что большинство термопластов являются теплоизоляторами и при подводе значительного количества тепла вероятно деформация деталей и выгорание связующего. Возможно применение клевого или, в некоторых случаях, клеезаклепочного соединения, но результат сильно зависит от совместимости основы клея и связующего, а также от качества подготовки склеиваемых поверхностей.

Освоение технологии применения термопластичного материала целесообразно для изготовления относительно небольших изделий судового машиностроения, в том числе тонкостенных, к термостойкости, вибропрочности, электро-

изоляционным и теплоизоляционным свойствам которых предъявляются повышенные требования, при относительно невысоких требованиях к пиковой механической прочности.

Перечисленные выше недостатки можно компенсировать с помощью применения аддитивных технологий, в частности 3D-печати с использованием армирующих материалов. Для оптимизации технологии и уменьшения себестоимости при серийном производстве устройств очистки воздуха изучаются возможности 3D-печати тонкостенных деталей со сложным изогнутым профилем предпочтительно из материалов, аналогичных по свойствам компонентам. Наиболее перспективной выявлена технология анизопринтинга. Уникальность этой технологии в том, что волокно пропитывается реактопластом, а не термопластом. Это позволяет обеспечивать более качественную, более дешевую, более надежную пропитку этого волокна. Такой процесс называется коэкструзией [4]. В процессе печати отдельно к пластику добавляется нерасплавляемое волокно. Как результат, получается двухматричный композит, в котором внутри волокна есть нерасплавляемый реактопласт, обеспечивающий пропитку волокна, а между волокнами – термопласт, который их между собой связывает. Принципиальная схема описания технологии анизопринтинга представлена на рис. 4.

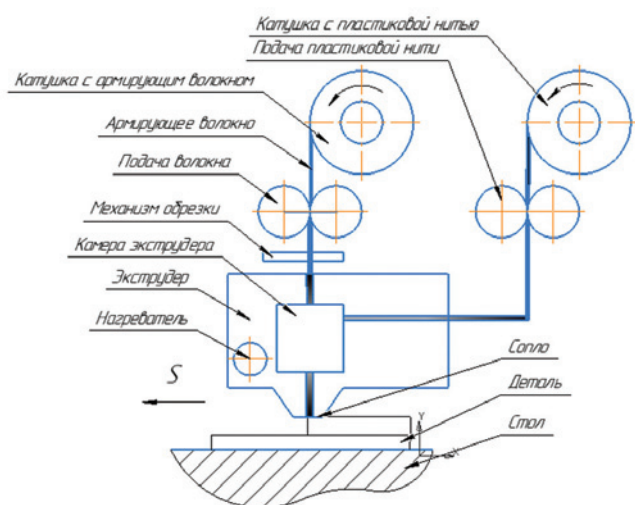


Рис. 4. Технология анизопринтинга

Преимуществом данной технологии, активно развиваемой во всем мире, является получение более прочных композитов в сравнении с серийно изготавливаемыми в данное время. Возможно широкое применение различных видов пластика – от негорючих или цветных до материалов со стойкостью к определенным химическим, температурным и атмосферным воздействиям. Это возможно, так как все основные поверхностные свойства материала определяются именно связующим – матрицей. За счет отдельной подачи волокна и пластика в каждой точке можно локально менять объемную долю каждого из них. Таким образом мы можем управлять степенью анизотропии и, что более важно, печатать сетчатые конструкции из армирующего вещества с пересечениями волокон внутри одного слоя. Это дает возможность укладывать армирующие волокна друг на друга под любыми необходимыми углами в пределах каждого слоя индивидуально. Толщина слоя в месте пересечения остается прежней, изменяется только объемная доля волокон. Безусловно, технология является перспективной в области 3D-печати, и ее освоение – перспективная задача.

На основе данной технологии на предприятии в программном комплексе «Ansys Mechanical» был выполнен проверочный расчет для определения оптимальной схемы армирования при выполнении 3D-печати лопатки сепаратора, которая несет на себе вибрационную нагрузку. Произведен расчет внутренних напряжений, возникающих в лопатке сепаратора, при воздействии эксплуатационных нагрузок. Так как нагрузка от потока воздуха и вибрационная по отдельности для композит-

ного материала невелика, проверки требует комплексное воздействие нагрузок, с учетом различия фактических механических свойств слоистого композита и напечатанного композита, армированного дискретными волокнами (анизопринтинга).

Нагрузка рассчитывалась в соответствии с направлением, в котором деформируется конструкция при вибрации по моде первой собственной частоты. Амплитуды деформаций и напряжений служат для качественной оценки различных зон конструкции, но не могут приниматься для оценки прочности, они подбирались так, чтобы распределения напряжений были наглядными.

Исходные данные моделирования

Параметр	Значение
Скорость потока воздуха, м/с	10
Расчетное давление на лобовой поверхности лопатки, Па	200
Первая собственная частота лопатки, Гц	258
Амплитуда нагрузки	15g

Пример исследования эквивалентных напряжений слоистого композита представлен на рис. 5.

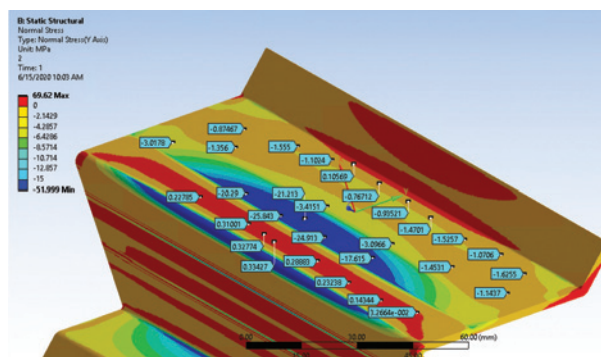


Рис. 5. Максимальные напряжения в зоне между контактами детали

Дополнительно, для сравнения двух методов изготовления, выполнен расчет модели лопатки после 3D-печати с теми же параметрами нагрузки. Результаты расчетов от воздействия ударных нагрузок приведены на рис. 6. Полученное напряженно-деформированное состояние позволяет оценить наиболее нагруженные участки конструкции и выбрать метод армирования с учетом технологических возможностей 3D-печати.

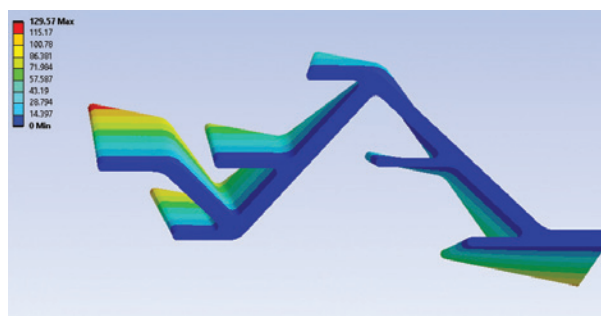


Рис. 6. Частотный анализ модели после 3D-печати

Использование аддитивных технологий позволяет свободно изменять топологию изделия с целью уменьшения застойных зон, а также увеличения степени очистки воздуха.

Такой подход позволяет проектировать изделие под различные условия эксплуатации, так как геометрия изделия жестко не привязана к процессу производства.

На основании разработанной модели с помощью технологии анизопринтинга была напечатана лопатка секции сепаратора, представленная на рис. 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На предприятии «Винета» были проведены испытания напечатанного изделия в климатической камере. Исследо-

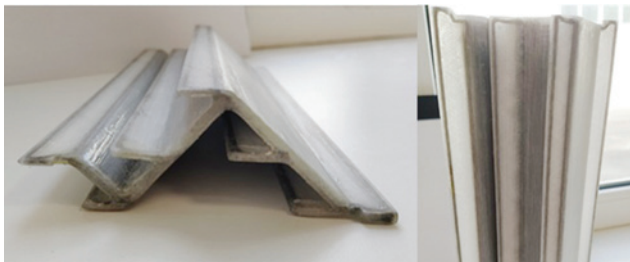


Рис. 7. Опытный образец лопатки сепаратора

вания показали, что в условиях пониженных и повышенных температур, а также высокой влажности деталь не изменяет физико-химических и механических свойств, что подтверждает возможность ее использования в составе секции сепаратора.

Как итог, согласно проведенному исследованию, вариант замены технологии склеивания частей лопаток сепаратора на печать с помощью технологии анизопринтинга является актуальным. Она позволит:

1. Значительно повысить качество продукции, а также сократить время изготовления изделия.
2. Повысить качество изготовления всей установки за счет

Аля механизации подъемно-транспортных работ в машинных отделениях судов различного назначения, плавучих энергоблоков и ремонтных баз все чаще начали использовать электромостовые краны благодаря простоте их конструкции и требованиям к эксплуатации. Любой мостовой кран имеет в своей основе двухбалочную сварную конструкцию с пространственно жесткими продольными балками, соединенными между собой замыкающими балками (концевыми замыкателями) и снабженными катками или ходовыми колесами для перемещения по надземным подкрановым путям. Наибольшее распространение в промышленности получили мостовые краны опорного типа, у которых грузовая тележка с установленной на ней лебедкой и канатной подвеской с грузозахватом на барабане перемещаются по рельсам, монтируемым на верхнем настиле мостовой конструкции. Грузовая тележка с установленной на ней лебедкой, перемещающаяся по верхнему настилу моста, предопределяет существенное увеличение строительной высоты крана, т. е. способствует росту его высотного габарита, что делает неприемлемым использование мостовых кранов опорного типа в судовых помещениях. Жестким требованиям к габаритам применяемого судового оборудования больше отвечают мостовые краны подвесного типа, пролеты мостов которых подвешиваются с помощью катков к нижним ездovým полкам надземных подкрановых путей, монтируемым на переборках и подволоках судовых помещений. Снижению высотных габаритов мостового крана также способствует использование нижних ездových полок продольных балок моста для перемещения грузовой

тележки, если перенести крановую лебедку с барабаном на верхний настил моста и закрепить ее там стационарно. Кроме снижения высотных габаритов, использование пространства между продольными балками моста для передвижений грузовой тележки позволяет практически реализовать еще одно преимущество подвесных кранов – расширить диапазон ходов грузовой тележки и обеспечить наиболее близкий ее подход (до 200 мм) к судовым переборкам, что имеет существенное значение при выполнении подъемно-транспортных операций в судовых условиях. Близкий подход грузовой тележки к судовым переборкам достигается за счет использования проемов и вырезов в нижней части концевых замыкателей и поперечных ребер жесткости между продольными балками, сохраняя при этом требуемую жесткость основной двухбалочной мостовой конструкции. Для обеспечения надежности и безопасной эксплуатации судовых электромостовых кранов на стоянках в условиях постоянных крена и дифферента, на ходу судна и при волнении, а также для выполнения требований к ударостойкости (сейсмостой-

реализации новых технологических решений вследствие исключения человеческого фактора при склеивании лопатки.

3. Уменьшить массогабаритные характеристики за счет изменения способа изготовления изделия.

Направлением последующих работ являются комплексные испытания изделия и пути совершенствования изготавливаемой конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Молчанов Б.И., Гудимов М.М. Свойства углепластиков и области их применения / Всероссийский институт авиационных материалов ФГУП «ВИАМ» ГИЦ РФ // Авиационная промышленность. – 1997. – №3–4. – С.4–7.
2. ТУ 1916-089-61664530–2016. Препреги на основе угле волоконистых армирующих материалов и связующего НСР 1207. – М.: АО «Препрег СКМ», 2016.
3. Наливкин П.В., Плесенков И.В., Витковский А.С. Системы очистки воздуха судовых двигателей и освоение композитных материалов для их изготовления в ООО «Винета» // Морской вестник. – 2017. – №3(63). – С.71-73.
4. Anisoprint Composer: 3D-печать высокой прочности // Сетевой журн., 6 февраля 2019. – URL: <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/439062/> (дата обращения: 04.05.2022). ■

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМОСТОВЫХ КРАНОВ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В.Б. Здрогов, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник
 ЗАО «ЦНИИ СМ»,
 контакт. тел. +7 (981) 143 6524

кости), предъявляемых к оборудованию атомных судов, приводы механизмов продольных движений моста и грузовой тележки используют в своем составе зубчатые рейки, закрепляемые под ездowymi полками по всей длине хода, что является отличительной особенностью судовых электромостовых кранов.

Перечисленные выше особенности конструктивного исполнения мостового крана подвесного типа легли в основу разработанного Пролетарским заводом судового электромостового крана КЭМ 11 по ТУ5-ЦАКИ. 481229.001 ТУ-88 грузоподъемностью 3,2 т и длиной пролета 7,5 м, а также были использованы в последующих разработках судовых электромостовых кранов грузоподъемностью 5 т (КЭМ 12) и 10 т (КЭМ 6). Причем все перечисленные электромостовые краны отвечали требованиям Российского морского регистра судоходства (РМРС).

В качестве примера на рис. 1 представлен электромостовой кран КЭМ 6, а его технические характеристики приведены в таблице. Выпущенные электромостовые краны имели дистанционное управление с подвесного пульта

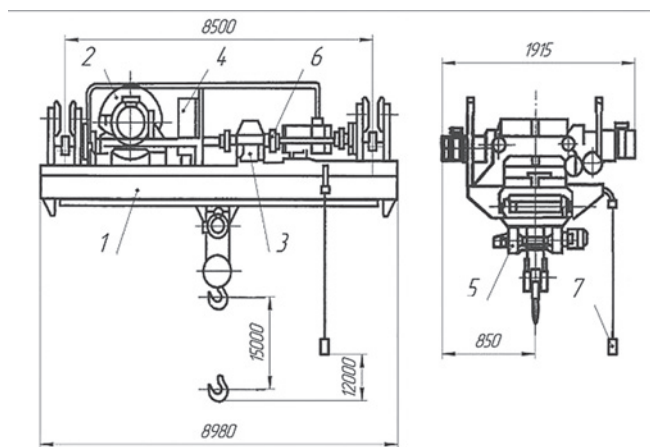


Рис. 1. Судовой электромостовой кран КЭМ 6
1 – мост, 2 – лебедка, 3 – редуктор, 4 – шкаф электрический, 5 – грузовая тележка, 6 – карданный вал, 7 – пульт управления

кнопочного типа и были оборудованы ограничителями грузоподъемности, высоты подъема гака, длины вытравленного грузового каната, перемещений тележки и моста. При прекращении подачи электропитания на кран все механизмы затормаживались. Передвижение кранов по ездовым полкам подкрановых путей, смонтированных на судне, обеспечивалось с использованием речного зацепления, при этом шестерни в зацеплении получали свое вращение от раздаточного электроприводного редуктора, установленного на мостовом настиле, с помощью карданных передач [1].

Следует отметить, что применение карданных валов для передачи крутящего момента в механизмах передвижения мостовых кранов делает эти механизмы громоздкими, что затрудняет их размещение на наружном настиле моста, кроме того сохраняется проблема, связанная с перекосом мостовой конструкции относительно подкрановых путей, неизбежно возникающая в процессе работы крана. Перекос мостового крана при движении, кроме интенсивного износа подкрановых путей и ходовых катков, может привести к более тяжелым нарушениям безопасной эксплуатации, таким, как сход с подкрановых путей, длительные простои крана, связанные с восстановлением работоспособности и заменой его деталей и узлов. Проблема перекоса мостовых кранов, особенно подвесного типа, становится более острой по мере роста грузоподъемности, длины пролетов мостовых конструкций и отклонений подкранового рельсового пути в силу тех или иных причин, в частности, на судах имели место отклонения рельсового пути, связанные с деформациями перегородок и подволоков, к которым он прикрепляется.

В настоящее время в борьбе с перекосами при движении мостовых кранов прослеживаются два направления: повышение требований к качеству, содержанию и безопасной эксплуатации подкра-

новых путей, а также усовершенствование механизмов передвижения мостов. Не вдаваясь в подробности, касающиеся надземных подкрановых путей, следует обратить лишь внимание, что федеральными нормами и правилами в области надзора за подъемными сооружениями, введенными приказом от 12 ноября 2013 г. № 533, подъемные сооружения и подкрановые пути разделены как объекты и должны находиться под надзором различных специализированных организаций, имеющих свои лицензии, при этом параметры надземных крановых путей, включая допуски на ширину рельсовой колеи, нормируются вновь разработанным ГОСТ Р 56944–2016.

Пути совершенствования технических характеристик судовых электромостовых кранов и требований к безопасности их работы, особенно с учетом требований действующей нормативно-технической документации, достаточно много. В этой связи может представ-

лять интерес судовой кран с индексом КЭМ 18–02 из типового ряда мостовых кранов по техническим условиям КЭМ 20870-1ТУ, предназначенный для замены идентичного по грузоподъемности и монтажно-присоединительным размерам крану КЭМ 6 (см. рис. 1). Последний эксплуатировался в судовом помещении с активной зоной и сохранил при этом до настоящего времени свое исправное состояние. Однако установленный срок службы крана завершился, а продление его не представляется возможным в силу ряда обстоятельств.

Особенностью конструкции крана КЭМ 18–02, представленного на рис. 2, является стационарно закрепленная лебедка на верхнем настиле моста, двухручьевого барабана которой через канатную подвеску с гаком связан со шкивами подвижной грузовой лебедки. Вращение барабана лебедки обеспечивается по классической схеме с использованием коническо-цилиндрического редуктора, соединительной муфты, колодочного тормоза и приводного электродвигателя. Следует обратить внимание, что конструкция судовых кранов мостового типа по типураду КЭМ защищена патентом RU204966 U12021.02.24.

Отличительной особенностью крана КЭМ 18–02 является использование частотных преобразователей в электроприводах крановых механизмов, в том числе и в механизмах передвижения моста, что позволяет обеспечить плавную регулировку скоростей их движения при одновременном изменении диапазонов скоростей как моста, так и грузовой тележки. Сравнительные технические характеристики мостовых кранов КЭМ 6 и КЭМ 18–02 представлены в таблице.

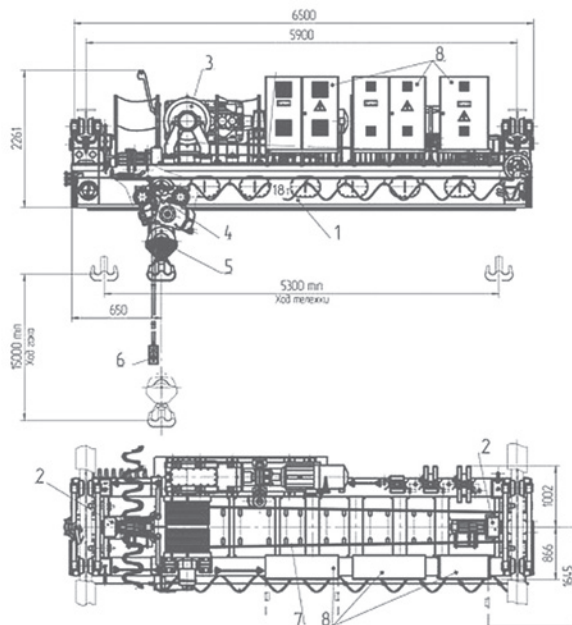


Рис. 2. Кран электрический мостовой КЭМ 18–02
1 – мост, 2 – механизм передвижения крана, 3 – лебедка, 4 – грузовая тележка, 5 – подвеска, 6 – пульт подвесной, 7 – грузовой канат, 8 – шкафы электрические

Характеристики судовых мостовых кранов

Характеристика, параметр	Марка судового мостового крана	
	КЭМ 6	КЭМ 18-02
Грузоподъемность, тс	10	10
Пролёт моста, мм	6000	5990
Ход моста, мм	9110	9093
Ход грузовой тележки, мм	5420	5300
Высота подъема груза, мм	15 000	15 000 ⁻⁵⁰⁰
Высота подвески пульта управления, мм	3000	15 000
Габариты крана, мм:		
– ширина	2100	2143
– длина	6480	6410
Скорость подъема/спуска груза и холостого гака, м/с (м/мин):		
– максимальная	0,117 (7)	0,117 (7)
– минимально устойчивая	0,1 (0,6)	0,11 (0,6)
Скорость передвижения грузовой тележки, максимальная, м/с (м/мин)	0,122 (7,3)	0,067 (4)
Скорость передвижения моста, максимальная, м/с (м/мин)	0,067 (4)	0,117 (7)
Режим работы крана в целом по ИСО4301/1	Лёгкий (Q1) ПВ – 15%	Умеренный (Q2) ПВ – 25%
Суммарная потребляемая мощность, кВт	26	52
Конструктивная масса крана, кг	8080	9750

Использование отдельных электроприводных механизмов для передвижения моста вместо карданных передач с раздаточным редуктором упрощает решение проблем перекоса моста при его движении за счет управления частотными преобразователями с учетом токовых перегрузок, возникающих в электроприводных механизмах моста при его движениях с перекосом. Управление перекосами создает предпосылки для безопасного увеличения скорости передвижения моста в пределах отведенной на его перемещение электрической мощности и, как следствие, повышение эффективности использования крана КЭМ 18-02, включая работу с более тяжелыми режимами его нагружения. С другой стороны, повышенная скорость передвижения грузовой тележки в кране КЭМ 6 способствует обострению еще одной проблемы мостовых кранов подвесного типа, связанной с повышенным износом грузового каната и сложностью его замены при необходимости. В рассматриваемых электромостовых кранах используется сложная многоходовая запасовка грузового каната, конструктивное исполнение которой обусловлено необходимостью сохранить горизонтальность

перемещений подвешенного груза при движении грузовой тележки вдоль моста. Схема запасовки грузового каната на судовом мостовом кране представлена на рис. 3.

Известно также, что на износ грузового каната в любом грузоподъемном механизме оказывает существенное влияние число его перегибов по шкивам, определяемых принятой схемой запасовки и скоростью обкатывания шкивов канатом при работе [2]. Для снижения износа грузового каната с учетом используемой схемы запасовки в рассматриваемых мостовых кранах более перспективным является стремление к снижению скорости передвижения грузовой тележки, что и было реализовано в конструкции крана КЭМ 18-02 – она составляет 4 м/мин вместо 7,3 м/мин крана КЭМ 6. Уменьшение скорости грузовой тележки крана КЭМ 18-02 позволило упростить и кинематическую схему механизма ее передвижения. Вместо планетарного редуктора с раздаткой крутящего момента на обе шестерни реечного зацепления, используемого в КЭМ 6, был применен мотор-редуктор мощностью 3 кВт с частотным регулированием и встроенным электрическим тормозом. Выходной вал мотор-редуктора выпол-

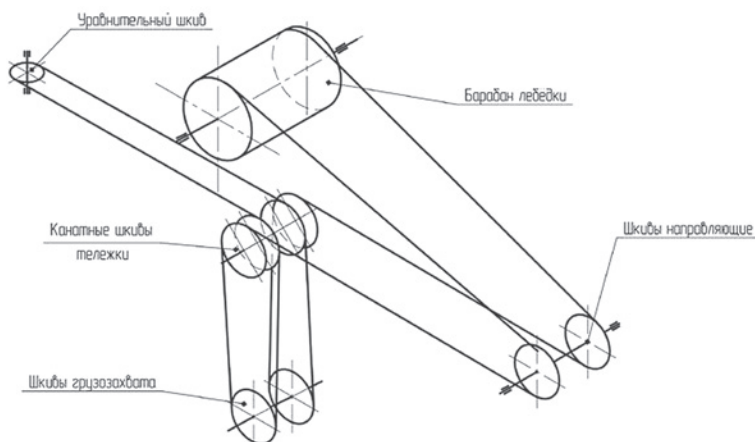


Рис. 3. Схема запасовки каната на судовом кране

нен полым, снабжен шпоночным пазом, с помощью которого мотор-редуктор закрепляется на конце приводного вала ведущих шестерен реечного привода тележки. От проворачиваний мотор-редуктор, монтируемый на конце приводного вала ведущих шестерен, удерживается рычагом реактивного момента, свободный конец которого закреплен на раме грузовой тележки с использованием двухсторонних амортизаторов. Амортизированный рычаг реактивного момента позволяет демпфировать толчки и удары, возникающие при страгивании и затормаживании грузовой тележки, а также улучшает плавность хода движения грузовой тележки по неровностям ездовых полок и зубчатых реек.

Компактность приводных механизмов, в состав которых входят мотор-редукторы, простоту их конструкции и доступность для обслуживания и ремонта можно проиллюстрировать на примере части привода передвижения мостов в кранах типоряда КЭМ по техническим условиям КЭМ 20870-1ТУ, приведенного на рис. 4. Для перемещения мостов в указанных кранах используются парные мотор-редукторы мощностью 4 кВт каждый, монтируемые на концевых замыкателях моста, которые обеспечивают все его перемещения с заданными скоростями без каких-либо дополнительных устройств передачи крутящего момента. Однако, несмотря на все преимущества электроприводов с мотор-редукторами, их использование на судах затрудняется из-за зависимости работоспособности от пониженных температур окружающей среды. Наиболее уязвимым местом мотор-редукторов на судне становятся частотные преобразователи электродвигателей, теряющие свою работоспособность при температуре $-20... -25^{\circ}\text{C}$, в то время как в большинстве технических заданий на разработку судовых грузоподъемных устройств граница отрицательных температур доходит до -40°C . Например, для крана КЭМ 6 граница нижних отрицательных температур указана -30°C , хотя кран эксплуатировался внутри судовых помещений, что привело к существенным трудностям с подбором импортных частотных преобразователей для крана КЭМ 18-02 из-за отсутствия отечественных с требуемыми температурными характеристиками.

Использование импортных частотных преобразователей и мотор-редукторов потребовало новых подходов к разработкам системы управления и энергообеспечения кранов типоряда КЭМ. При этом необходимо было учесть то, что в правилах РМРС отсутствуют, например, требования к установке на судовые грузоподъемные устройства регистраторов режимов их рабо-

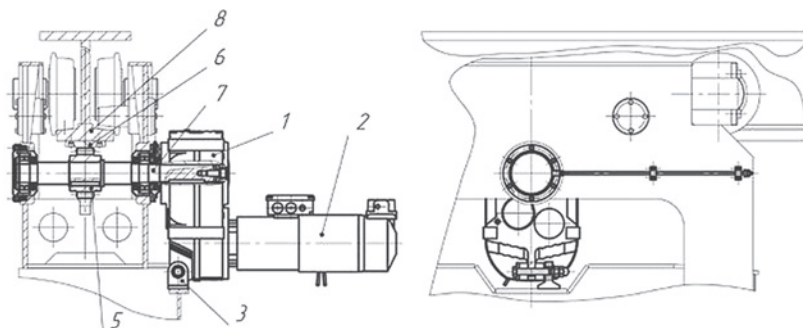


Рис. 4. Механизм передвижения крана

1 – мотор-редуктор, 2 – электродвигатель, 3 – рычаг реактивного момента, 4 – амортизатор, 5 – шестерня, 6 – рейка зубчатая, 7 – вал приводной, 8 – полка ездовая

ты, в то время как федеральные нормы и правила по промышленным грузоподъемным сооружениям [3] требуют обязательного их использования. Для обеспечения и оценки безопасности работ с электромостовым краном, проводимых в судовых помещениях, а также для объективного анализа возникновения аварийных ситуаций в течение длительной эксплуатации (назначенный срок крана до заводского ремонта – 25 лет) для кранов типоряда КЭМ был разработан регистратор параметров крана, встраиваемый в систему управления и отвечающий требованиям ГОСТ 33713–2015. Описание разработанного регистратора для крана КЭМ 18–02, особенности настройки и технического содержания изложены в руководстве по эксплуатации ЦАКИ.481223.006 РЭ1.

Встроенный регистратор режимов был выполнен в виде многофункциональной электрической стойки, устанавливаемой стационарно вне крана. Стойка снабжена дисплеем с необходимыми переключателями, на который выводятся и могут быть зафиксированы все режимы работы электроприводов крановых механизмов, включая рабочее состояние тормозов. Со стойки можно управлять движением и крановых механизмов, в том числе одновременно, подменив тем самым функции пульта управления, подвешенного к грузовой тележке.

Возникшая необходимость электрических соединений частотных преобразователей, сгруппированных в электрошкафах на наружном настиле моста, с приводными электродвигателями механизмов, разнесенных по наружному настилу моста крана, с пультом управления, подвешенным на канате к подвижной грузовой тележке и имеющим электрическое соединение с ней, существенно усложнили электроснабжение крана. Устройство энергообеспечения крана КЭМ 6 с использованием гибкого силового кабеля, подвешенного к предварительно натянутому вдоль подкрановых путей тросу (струне), имеющего возможность складываться в «гармошку» и растягиваться в длину по мере движения крана, теперь должно быть

дополнено информационным (интерфейсным) кабелем, мало отличающимся по своей погонной массе и жесткости от силового кабеля. Аналогичная ситуация складывалась с подведением двух гибких кабелей и к грузовой тележке, причем объединение силового и информационного кабелей в одно целое или их прокладка рядом не представляется возможным по условиям электромагнитной совместимости. Применительно к мосту крана проблему электромагнитной совместимости электрокабелей удалось решить путем подводки их к мосту крана с разных сторон, используя при этом одну воздушную подвеску в виде стального каната с изменяемым усилием натяжения и заданной стрелой прогиба (провиса), величина которой подлежит периодическому контролю. Жесткость требований к натяжению воздушной канатной подвески необходима для обеспечения плавной, без заеданий, укладки электрокабелей в правильные спирали, не зацепляющие друг друга, что способствует их сохранности. Для этой же цели подводимые к мосту электрокабели закрепляются с определенным шагом в специальных кабельных подвесках, снабженных роликами, с помощью которых они опираются на натянутый стальной канат. Для исключения каких-либо тяговых воздействий на электрокабели при их относительных перемещениях все кабельные подвески (каретки) соединены между собой цепными поводками. Следует обратить внимание, что при движениях моста один из электрокабелей всегда укладывается в спирали, тогда как второй начинает растягиваться в линию. Аналогичная схема подведения электрокабелей, включая комбинацию кабельных и цепных поводков, а также стальные канаты (струны), натянутые вдоль моста, использованы в грузовой тележке, с той лишь разницей, что подводимые электрокабели располагаются по ее боковинам. Принятое конструктивное исполнение подведения силовых и информационных кабелей к мосту крана, несмотря на относительную сложность, позволило устранить один из недостат-

ков мостовых кранов – низкую работоспособность систем их энергообеспечения [4], а сохранность и долговечность электрокабелей является основой для безопасной работы мостовых кранов в судовых условиях.

На примере рассмотренных технических характеристик и параметров судового электромостового крана КЭМ 18–02, входящего в состав типоряда электромостовых кранов КЭМ по техническим условиям КЭМ 20870–1ТУ и КЭМ 20870–2ТУ, можно проследить направления их совершенствования:

1. Дальнейшее снижение высотных габаритных размеров судовых мостовых кранов навесного типа, отвечающих требованиям действующей нормативной документации и использующих компактные электроприводные механизмы с частотным регулированием на отечественной элементной базе.

2. Обеспечение качества ходов моста и грузовой тележки по ездовым полкам без перекосов и нарушений центровки с учетом возможных упругих деформаций и износа подкрановых балок на судовых переборках, выходящих за рамки требований ГОСТ Р 56944–2016.

3. Обоснованность выбора скоростей рабочих движений крановых механизмов, способствующих снижению износа и возникновению повреждений таких узлов и деталей, как грузовой канат, катки ходовые, шкивы канатной запасовки и т. д.

4. Подбор устройств управления и регистрации режимов работы электромостовых кранов типоряда КЭМ с учетом того, что действующие правила по эксплуатации кранов допускают управление электромостовым краном «с пола», если его грузоподъемность не превышает 10 т. Одновременно известен судовой электромостовой кран КЭМ 20/5 по техническим условиям КЭМ 20870–1ТУ, снабженный кабиной управления, автономно перемещающейся вдоль пролета моста (Устройство защищено патентом RU 150296 U1 29.07.2014).

ЛИТЕРАТУРА

1. Сулов В. Ф. и др. Оптимизация судового машиностроительного оборудования. – СПб.: Изд. СПбГМТУ. – 2004. – Т. 2.
2. Сниткин В. М. и др. Опыт и проблемы эксплуатации мостовых кранов // Молодой учёный. – 2015. – № 17 (97).
3. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Правила безопасной эксплуатации производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения. (Утв. приказом Ростехнадзора России от 12.11.2013 г. № 533).
4. Каминский Л. С. и др. О повышении безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов // Основные средства. – 2015. – № 6. ■

Актуальной задачей для судостроения и повседневной эксплуатации морских судов является увеличение срока службы металлических трубопроводов и элементов систем, контактирующих с забортной водой. Наиболее остро стоит проблема обеспечения надежной и безопасной эксплуатации систем охлаждения (СО) судовых энергетических установок (СЭУ).

На современных судах применяется двухконтурная система охлаждения, состоящая из контура пресной воды (низкотемпературного и высокотемпературного контуров) и контура забортной воды (рис. 1).



Рис. 2. Паровой конденсатор во время эксплуатации

Морская вода – это электролит с водородным показателем $pH = 7,2 - 8,6$ и чрезмерно насыщенная кислородом (до $8 \text{ мг/л } O_2$). Из-за наличия в морской воде растворенных хлоридов (ионов активаторов Cl^-), которые разрушают пассивирующие слои (разрушает и предотвращает появление оксидных пленок на поверхности металла) [1].

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СЭУ ЗАБОРТНОЙ ВОДОЙ С УЧЕТОМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

С.Г. Черный, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
В.А. Кучеренко, инженер, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
В.С. Чернуха, аспирант, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»,
М.В. Кердысь, аспирант, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
 sergiiblack@gmail.com

Рассмотрим элементы систем охлаждения забортной воды и каким разрушениям они подвергаются. Кингстон – это клапан, соединяющий кингстонную выгородку и забортную систему, этот узел подвержен обрастанию и эрозии. Кингстонный фильтр – основной фильтр забортной воды, где находится каталитический протектор. При неисправном каталитическом протекторе происходит интенсивная электрохимическая коррозия. Теплообменные аппараты в контуре охлаждения пресной воды забортной в основном применяются пластинчатые, наименее подверженные коррозии и наиболее удобные в обслуживании. Паровой конденсатор склонен к хлоридному налету и образованию накипи (рис. 2).

Кроме систем охлаждения, также подвержены агрессивному влиянию процессов коррозии и эрозии судовые системы, в которых применяется забортная вода (опреснитель забортной воды, пожарная

система, система инертных газов, система охлаждения парового конденсата. Пожарная система (пенотушения) страдает от зон стоячей воды, где происходит утоньшение металла.

Эрозионный износ проходит одновременно с процессом коррозии. Это явление вызвано режущим действием движущихся частиц, которые переносятся потоком жидкости или газа и уносят фрагменты материала с твердой поверхности труб. Струйные (гидроударные) эрозионные разрушения имеют широкое распространение, являясь причиной преждевременного повреждения многих элементов трубопроводов (колен, тройников, задвижек), теплообменников, лопаток паровых турбин и т. д.

На этапе проектирования одним из путей решения проблемы является сокращение площади, подвергаемой повреждению поверхности. Например, уменьшение протяженности труб с цир-

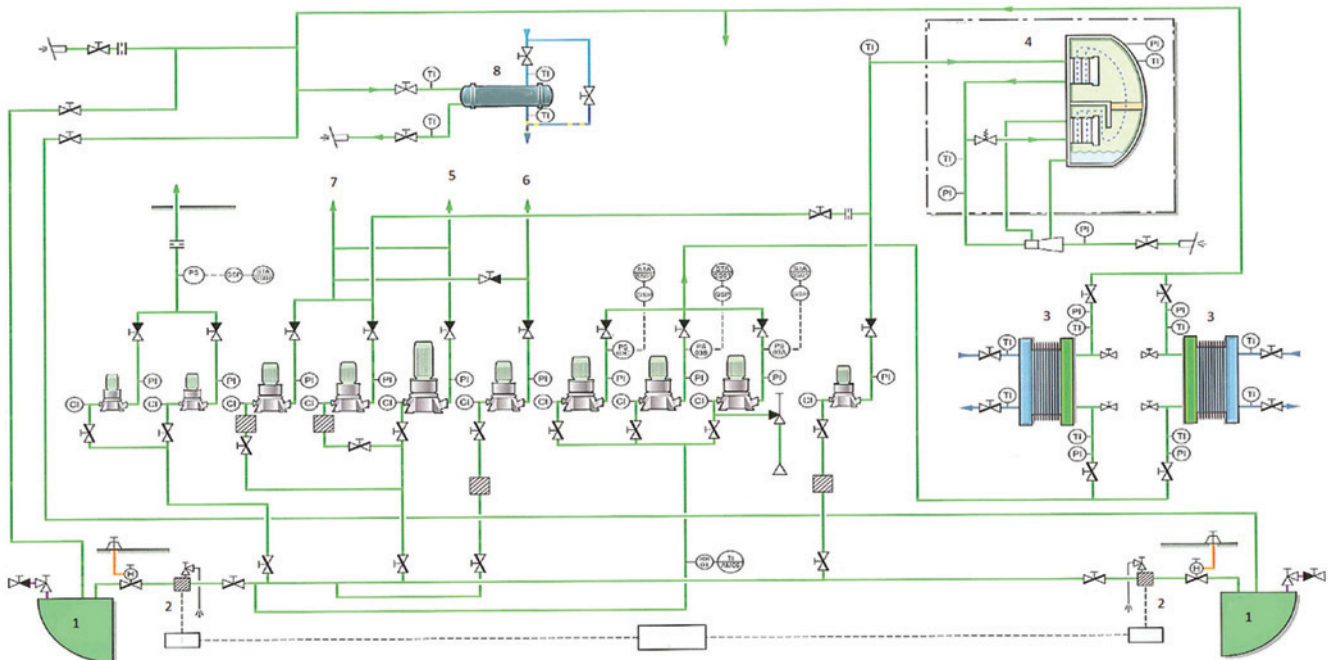


Рис. 1. Схема системы охлаждения

1 – кингстон; 2 – кингстонный фильтр; 3 – охладители пресной воды; 4 – водоопреснительная установка (ВОУ); 5 – система пенотушения; 6 – система инертных газов; 7 – пожарная система; 8 – паровой конденсатор

Десятибалльная шкала стойкости металла к коррозии [5]

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, мм/год	Номер класса
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	0,001 – 0,005 0,005 – 0,01	2 3
Стойкие	0,01 – 0,05 0,05 – 0,1	4 5
Пониженностойкие	0,1 – 0,5 0,5 – 1,0	6 7
Малостойкие	1,0 – 5,0 5,0 – 10,0	8 9
Нестойкие	Свыше 10	10

кулирующей забортной водой в машинном отделении способствует уменьшению количества и площади соприкосновения агрессивной среды с металлом [2]. Однако такой подход не позволяет сократить межсервисный интервал, может привести к нарушению требований классификационного общества и неприятию на судах всех типов.

Биокоррозия происходит в основном при работе в теплых широтах, где судно страдает от обрастания и попадания биоорганизмов в систему забортной воды, забивая собой кингстонный фильтр и закрепляясь на стенках труб.

Для определения путей увеличения срока службы металлических трубопроводов и элементов систем, контактирующих с забортной водой, необходимо проанализировать их условия эксплуатации.

Цель работы – анализ условий работы системы охлаждения забортной водой с учетом эксплуатационных факторов и определение возможных путей увеличения срока службы металлических трубопроводов забортной воды на судах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Коррозия трубопроводов в реальных условиях происходит при смешанных процессах. Для снижения скорости протекания этих процессов целесообразно искать решения с учетом комплекса факторов, определяющих особенности эксплуатации.

Различают, согласно [3], атмосферную коррозию, жидкостную, биокоррозию, структурную, щелевую, коррозию под напряжением, фреттинг-коррозию.

Рассмотрим детальной виды коррозии и способы противодействия ей.

Жидкостная коррозия подразделяется на электрохимическую коррозию и эрозию под воздействием жидкости. Наиболее существенное влияние на элементы СО имеет электрохимическая коррозия, т. е. коррозионные процессы, протекающие в водных растворах электролитов, в расплавах солей, в щелочах и в влажном воздухе, так как поверхность детали покрыта тонкой пленкой воды

толщиной в несколько микрон, которая сохраняется до температуры 80–100 °С. Коррозионная стойкость определяется в мм/год (см. таблицу) и является сравнительной характеристикой скорости реакции [4].

Для повышения стойкости металла по дестабилизирующей шкале применяется принудительный подвод электрического тока к катодному участку. Данная схема значительно уменьшает скорость электрохимической коррозии [3].

Следует также отметить влияние *структурной коррозии*. На морских судах для соединения трубопроводов применяется электрогазосварка, в связи с этим появляются зоны с разной степенью активности и происходит коррозия внутри металла, что очень опасно, так как приводит к образованию свищей и потере структурной прочности. Зачастую это происходит именно в местах сварки, так как это – зона термических напряжений.

Коррозионно-механическое разрушение – это воздействие турбулентного потока жидкости на стенки труб.

По характеру повреждений и механизму процесса различают следующие виды *эрозии*: кавитационная, струйная и коррозия при трении. Эрозия возрастает, если в жидкости имеется взвесь твердых частиц, что часто происходит при работе на мелководье и загрязненных акваториях. Струйная эрозия разрушает многие металлы и сплавы, которые в неподвижной коррозионной среде или при небольшой скорости движения последней успешно сопротивляются коррозии. Интенсивность процесса, определяемая как убыль массы металла с единицы его поверхности в единицу времени, обычно растет с ростом скорости потока электролита.

Пример такого воздействия – гильзы термометров, которые вкручены в систему, они доходят до середины сечения трубопровода, и на них воздействует высокая скорость потока, а также взвесь, которая разрушает защитную гильзу термометра. Кроме того, отложения на поверхности гильзы становятся дополнительным термическим сопротивлением, что может служить причиной не-

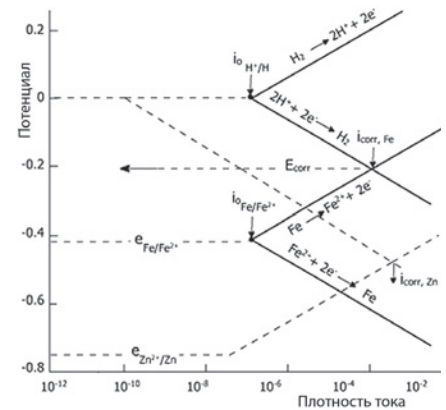


Рис. 3. Зависимость потенциала от плотности тока [6]

корректных измерений и сбоя системы автоматического регулирования.

Эрозия наблюдается в таких местах, как уголки сужения сварных швов; при изменении направления потока жидкости твердые частицы взвеси ударяются о стенки труб и происходит абразивный эффект, когда мягкий материал забивает оксидную пленку, способствуя интенсификации коррозии.

Биокоррозия – результат развития моллюсков и других биоорганизмов, которые в основном селятся в кингстонных выгородках и в зонах с низкой скоростью потока (это участки байпасов резервных насосов и системы, которые не используются постоянно, например, пожарная) и постепенно распространяются по всей системе. В связи с особенностью эксплуатации судна и правилами резервирования элементов судовых систем образуются зоны застоя морской воды, где возникают благоприятные условия для размножения живых организмов. Во время пользования зарезервированными участками трубопровода турбулентный поток морской воды смывает биоорганизмы вместе с ржавчиной, за которую они зацепились, и образуются эрозийные частицы. Вследствие этого морские организмы не только разрушают трубопроводы, но могут повредить насосы забортной воды и забить охладители, что иногда приводит к аварийной ситуации.

Все вышеперечисленные виды коррозии имеют место в системе забортной воды, и их невозможно решить по отдельности. В связи с этим рассмотрим способы защиты от коррозии и их основные недостатки.

Один из способов – уменьшение количества забортных труб до минимума и полная переделка системы охлаждения, где в роли охладителя используется корпус судна. Самый большой минус данного способа – в том, что судно находится в балласте и требуется значительное количество энергии для циркуляции воды и присадок для контроля ее качества. Тем не менее этот метод пригоден для

защиты от электрохимической коррозии, химической и биокоррозии, но он очень специфичен и подходит для судов с постоянным балластом, таких как паромы и пассажирские суда. Также требуется отметить, что при работе в южных широтах возможен общий перегрев системы из-за высокой температуры забортной воды, которая может составлять до 35 °С.

Создание защитных покрытий из металлов – самый распространенный метод защиты металла, который не требует конструктивного изменения судовых трубопроводов. Покрытия цинком по отношению к стали являются анодными до температур 50–70 °С (в зависимости от среды). При более высоких температурах потенциал цинка (рис. 3) смещается в область менее отрицательных значений и теряет способность к электрохимической защите стали, в данных условиях имеет место только механическая защита.

В заводских условиях наносится слой малорастворимых соединений, которые обеспечивают дополнительную защиту всей конструкции. Однако в условиях морского климата с высокой концентрацией хлоридов скорость коррозии цинкового покрытия значительно возрастает, что не позволяет обеспечить длительную защиту основного металла [3]. При установке оцинкованной трубы в старую систему происходит быстрая электрохимическая коррозия цинка.

В промышленности применяют никелевые сплавы для обработки труб. Этот способ помогает хорошо защитить основной металл конструкции, но его основной недостаток – высокая цена.

Получили широкое распространение неметаллические покрытия. Двухкомпонентные эпоксидные смолы в смешанном состоянии представляют собой однородную вязкую массу, которая закрепляется на очищенный металл трубы. Качественный защитный слой получается при нанесении одного или нескольких слоев покрытия для защиты трубы изнутри. Данный способ имеет большой диапазон применения, например, для покрытия балластных танков, колодцев машинного отделения. Самый значительный плюс его – возможность обработки деталей на судне силами экипажа. Из минусов – при достаточной длительной эксплуатации или ударных нагрузках возможно растрескивание покрытия и вынос частиц краски в систему, которые увеличивают интенсивность эрозионного разрушения и способствуют засорению и закупориванию фильтров охладителей, особенно при некачественном нанесении покрытия. К достоинствам метода следует отнести защиту от электрохимической коррозии и биокоррозии, хорошую стойкость к эрозии при

отсутствии очагов поражения.

Распространение получили покрытия на основе резино-полимерных соединений. Резиновые покрытия хорошо защищают основной металл при нанесении слоя толщиной 3–5 мм [7]. Эти покрытия широко применяют для труб большого диаметра, а также для защиты корпусов фильтров. Они полностью защищают металл трубы от коррозии, но со временем разрушаются при механических воздействиях. К числу минусов данного способа надо отнести сложность производства изогнутых резиновых втулок и их качественной проклейки. При соединении таких труб, монтаже и демонтаже следует соблюдать технологию в связи с возможным повреждением резиновой втулки.

Полимерное покрытие, нанесенное горячим методом, имеет отличные защитные свойства: оно не отслаивается и хорошо закрепляется на поверхности. Недостаток – высокая себестоимость данных покрытий и сложность их качественного нанесения.

Для противодействия биокоррозии применяют краски на основе меди и олова. Последние были запрещены из-за губительного воздействия накапливающихся в море токсичных веществ, прежде всего соединений и оксидов олова. В связи с этим 18 октября 2001 г. была принята Международная конвенция IMO AFS/CONF/26 о контроле вредных антиобрастающих покрытий, применяемых при окраске судов [8]. В соответствии с ней с 1 января 2003 г. запрещено применение оловосодержащих покрытий. С 1 января 2008 г. введен запрет на использование в покрытиях для защиты от коррозии и обрастания подводной части судов токсичных соединений тяжелых металлов. Работы по ужесточению международных требований к антиобрастающим покрытиям продолжаются и в настоящее время.

Основным способом защиты является подача тока на медный катод и на корпус судна (рис. 4). В результате ионы меди отрываются от медного стержня и уходят на стенки труб. При данном способе требуется уделять особое внимание подаче тока на медный стержень, поскольку при перебоях питания электрического тока медный стержень и трубы становятся гальванической парой [10–15]. Данный способ показал свою высокую эффективность и широко применяется на судах. Кингстонный фильтр – основной фильтр забортной воды, где находится каталитический проектор. При неисправном каталитическом проекторе происходит интенсивная электрохимическая коррозия.

Пассивация металла – это процесс создания защитной оксидной пленки под воздействием сильных кислот. По характеру протекания реакций пассива-

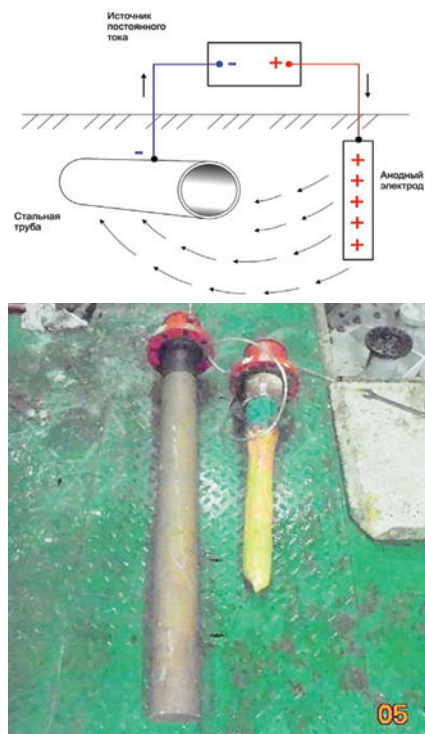


Рис. 4. Электроды катодной защиты системы охлаждения

цию разделяют на искусственную (результат достигается в лабораторных условиях) и естественную (защитный слой образуется из-за постоянного воздействия кислорода, содержащегося в воде и атмосфере).

Химическое пассивирование сводится к воздействию на заготовку соевым раствором – азотной, лимонной или серной кислотой с небольшой (до 6%) добавкой бихромата натрия [10]. Состав изменяется в зависимости от условий применения и эксплуатации. В результате такой обработки запускается реакция: отрицательно заряженные ионы притягиваются к положительным атомам металла. За счет диффузии создается защитный слой – оксидная пленка толщиной несколько микрон. Такой способ хорошо защищает от атмосферной коррозии, но при работе в агрессивной среде покрытие быстро стирается под воздействием эрозии.

ВЫВОДЫ

Анализ показал, что для решения обсуждаемой проблемы в практику судостроения и судоремонта требуется внедрение прогрессивных методов обработки и обслуживания судового оборудования и арматуры, металлических поверхностей. Отмечено, что в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации находятся донно-забортная арматура, теплообменные аппараты, трубопроводы и поверхности танков, взаимодействующие с забортной водой. В реальных условиях наиболее перспективным является применение за-

щитных покрытий из неметаллических соединений, а также внедрение систем комплексной катодной защиты. В ходе дальнейших исследований представляет интерес анализ условий биообращения и методов его предотвращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрова Л. Г., Тимофеева Г. Ю., Демин П. Е., Косачев А. В. Основы электрохимической коррозии металлов и сплавов: Учеб. пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 148 с.
2. Кузнецов М. В. Противокоррозионная защита трубопроводов и резервуаров. – М.: Недра, 1992. – 238 с.
3. ГОСТ 5272–68. Защита от коррозии. – М.: Изд-во стандартов, 1999.
4. Скорчелетти В. В. Теоретические основы коррозии металлов. – Л.: Химия, 1973. 246 с.
5. ГОСТ 13819–68. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Металлы и сплавы. Десятибалльная шкала коррозионной стойкости (с Изменением № 1). – М.: Изд-во стандартов, 1981.
6. Melchers R. E. Effect of temperature on the marine immersion corrosion of carbon steels // Corrosion. – 2002. – №. 9 (58). – P. 768–782.
7. Сухотин А. М. Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел. – Л.: Химия, 1988. 360 с.
8. Правила классификации и постройки морских судов. – Ч. XIII, п.6.5.2, 2018.
9. Мальцева Г. Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.
10. Пахомов В. С. Химическое сопротивление материалов и защита от коррозии. – М.: Химия КолосС, 2009. – 444 с.
11. Розен А. Е., Лось И. С., Перельгин Ю. П., Усатый С. Г., Хорин А. В. Новый коррозионно-стойкий материал и технология его получения // Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня. – Мат-лы 12-й Международ. науч.-практ. конф. – СПб.: Изд. Политех.ун-та, 2010. – 465–468 с.
12. Семёнова И. В. Коррозия и защита от коррозии. – М.: Физматлит, 2006. – 376 с.
13. Hack H.P. Designing cathodic protection systems for marine structures and vehicles // West Conshohocken.: ASTM Stock Number: STP1370 ASTM 100 Barr Harbor Drive, // American Society for Testing and Materials, PA 19428–2959.
14. Шумахер М. М. Морская коррозия: Справ. – М.: Металлургия, 1983. – 512 с.
15. Герасименко А. А. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений. – М.: Машиностроение, 1987. – 688 с. ■

Аккумуляторы использовались в подводных целях более века, например, свинцово-кислотными батареями оборудовали подводные лодки (ПЛ) с обычным двигателем с конца XIX в. Они по-прежнему являются распространенным источником энергии на ПЛ [1].

За последние два десятилетия литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) стали применять в оборонном секторе на обычных ПЛ, средствах доставки специальных сил, БПА и торпедях. Технология изготовления ЛИА в последнее время улучшилась и стала пригодной для широкого спектра гражданских и оборонных приложений [2]. Согласно данным тематического исследования GlobalData [3], они могут заменить свинцово-кислотные аккумуляторы (СКА) на ПЛ в качестве основного источника электроэнергии на них. ЛИА по сравнению со СКА обеспечивают более высокую плотность энергии, лучшую динамику заряда-разряда, а также имеют более длительный – более чем в 2 раза – общий срок службы, чем свинцово-кислотные батареи.

Все дизельные ПЛ используют батареи для бесшумного движения под водой. Аккумуляторы заряжаются от дизельного двигателя, которому для работы необходим кислород. Для этого ПЛ должна подняться на поверхность или поднять над поверхностью воды трубку перископа, воздухозаборник и выпускное отверстие. ПЛ, оборудованная ЛИА, может оставаться под водой намного дольше, чем со свинцово-кислотной батареей. Энергия, хранящаяся во всем аккумуляторном блоке, могла бы снабжать небольшой город в течение нескольких часов.

ЛИА сконструированы таким образом, что их можно установить на любую ПЛ с небольшими техническими изменениями, прежде всего потребуется

ОБЗОР ДАННЫХ ТЕМАТИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ «ЛИТИЙ-ИОННЫЕ БАТАРЕИ ДЛЯ ПОДВОДНОГО ПРИМЕНЕНИЯ» GLOBALDATA THEMATIC RESEARCH

В.Г. Данилова, аспирант, преподаватель СПбГМТУ, контакт. тел. +7 (931) 261 5158, rx301@bk.ru

графеновое покрытие. Внедрение графена в ЛИА может революционизировать способ использования технологии хранения энергии, что повысит ее рыночный потенциал. Графен – это не что иное, как материал на основе углерода толщиной всего в один атом, который можно использовать для изготовления аккумуляторов, легких прочных и быстро заряжаемых, пригодных для хранения энергии большой емкости.

Недавно исследователи из Передового технологического института Samsung (SAIT) и Школы химической и биологической инженерии Сеульского национального университета совместно разработали графеновое покрытие для ЛИА, чтобы увеличить скорость зарядки в 5 раз и емкость аккумулятора на 45%.

Достижения в области создания ЛИА привели к их доминированию на рынке, в последние годы они уже занимают 95–99% на нем. Речь идет прежде всего о литий-ионных никель-марганцево-кобальтовых (НМК) батареях, которые имеют выверенный баланс плотности энергии и мощности, что позволяет их применять в автомобильном секторе, на аккумуляторных электромобилях. Плотность энергии в литий-ионно-железо-фосфатных батареях

(LiFePO₄) также со временем увеличивается при аналогичном снижении стоимости, что делает их также подходящим кандидатом для краткосрочных и долгосрочных использований.

Однако конкурировать с ЛИА на основе НМК, стоимость изготовления которых постоянно снижается, а плотность энергии увеличивается за счет простой инженерной оптимизации методов их производства, оснастки и эффективности сложно.

ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИА ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ЦЕЛЕЙ [2]

ЛИА, используемые в различных отраслях, в том числе в автомобилестроении, авиации и морской промышленности, а также при изготовлении бытовой техники, в настоящее время имеют серьезные проблемы с пожарной безопасностью. Международная ассоциация воздушного транспорта выпустила первое издание руководящего документа для эксплуатантов, предназначенного для снижения риска, связанного с литиевыми батареями, которое вступило в силу в 2015 г. ВМС США выпустили аналогичное Руководство по безопасности интеграции платформ с литиевыми батареями в середине 2011 г. и про-

должает исследования по повышению безопасности ЛИА.

Нынешние ЛИА основаны на двух основных металлах – кобальте и никеле, которые наносят вред людям, добывающим их, а также окружающей среде. IBM недавно разработала аккумулятор нового типа, не содержащий кобальта, никеля и других тяжелых металлов, что позволяет избежать экологических и гуманитарных проблем, связанных с литий-ионными технологиями.

Оптимизированная по производительности батарея имеет более высокую удельную мощность, чем литий-ионная, что означает потенциально возможное уменьшение размеров батареи.

Еще один вид батареи, независимо разработанной Tesla, представляет собой комбинацию сухих батарей и суперконденсатора. Сочетание этих двух технологий способствует увеличению плотности энергии и, следовательно, запасу хода, а также скорости зарядки.

Есть исследования по разработке технологии твердотельных аккумуляторов. На сегодняшний день лучшие в своем классе элементы ЛИА содержат жидкий электролит. Твердотельные батареи, которые содержат твердый электролит вместо жидкого, могут обеспечить более высокую плотность энергии. В сочетании с новыми разработками аккумуляторной батареи и аккумуляторного модуля срок службы такой батареи может быть значительно увеличен.

Saft R&D разрабатывает технологии твердотельных аккумуляторов, основанных на таких материалах, как полимеры и неорганические соединения, стремясь к синергии их физико-химических свойств, проводимости, стабильности работы, а также к повышению технологичности производства. Появление таких аккумуляторов не означает, что ЛИА будут заменены в ближайшем будущем.

НЕДОСТАТКИ ЛИА

Крайне важна пожарная безопасность ЛИА для обитаемых подводных аппаратов. Министерство обороны Великобритании сообщило о 266 случаях возгорания на своих атомных ПЛ за последние 25 лет, для локализации 20 из них потребовались значительные бортовые ресурсы. За последние шесть лет в ВМС Индии произошло четыре серьезных инцидента, связанных с пожаром или системной пожарной безопасностью на обычных ПЛ, в результате чего погиб 41 человек.

Наиболее катастрофические последствия отказа работы ЛИА связаны с неконтролируемым повышением температуры внутри элемента из-за выхода из строя батареи, что приводит к самоподдерживающимся экзотермическим химическим реакциям, которые вызывают дальнейшее выделение тепла, разрушение элемента,

а иногда и взрыв. Этот тип отказа, или тепловой разгон, инициируется перегревом ячейки и/или ее компонентов. Быстрое выделение тепловой энергии может привести к нагреву соседних элементов и, как следствие, к каскаду тепловых отказов по всему аккумуляторному блоку. Тепловой разгон может быстро распространиться из одной ячейки в другую, что приведет к катастрофическому пожару, что наиболее опасно для ПЛ.

Высокое энергопотребление в сочетании с экстремальными схемами зарядки и эксплуатации ставят новые задачи в отношении обеспечения безопасности аккумуляторных батарей. Чтобы избежать несчастных случаев и нежелательных инцидентов, которые могут иметь серьезные последствия, технологии обеспечения безопасности работы батарей должны быть проверены и утверждены в соответствии с «передовой практикой». Об этом еще раз подтверждают такие нежелательные события, как взрыв испытательной морской аккумуляторной системы в Швеции и отзыв смартфона Samsung Galaxy с рынка в 2016 г.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЛИА

Эти аккумуляторы легкие, имеют большую удельную мощность по сравнению с традиционными батареями. Плотность их энергии обычно в два раза больше, чем стандартной никель-кадмиевой батареи (Ni-Cd). Улучшения электродных активных материалов ЛИА могут увеличить плотность энергии почти в три раза по сравнению с последними. В дополнение к высокой емкости нагрузочные характеристики достаточно хороши и имеют разрядные характеристики, аналогичные Ni-Cd. Плоская кривая разряда обеспечивает эффективное использование накопленной мощности в желаемом спектре напряжения.

Таким образом, батарея ЛИА – лучший источник питания для необитаемого подводного аппарата, торпед, ПА и ПЛ. Ее компактная конструкция обеспечивает более высокую эффективность и повышает надежность.

Высокое напряжение элемента ЛИА позволяет изготавливать аккумуляторные блоки, состоящие только из одного элемента. Одним из ключевых преимуществ ЛИА является их способность принимать различные формы и размеры, что позволяет заполнить любое доступное пространство в устройствах, которые они питают.

Аккумуляторы с более высокой плотностью энергии предпочтительны для ПЛ, поскольку они занимают сравнительно немного места и имеют гораздо большую емкость накопления энергии по сравнению со СКА. Это способствует увеличению подводной «выносливости» ПЛ и ее скрытности.

ЛИА имеет низкий уровень саморазряда, составляющий примерно 5–10%, что значительно ниже по сравнению с другими типами аккумуляторов, представленными на рынке. Для продления срока службы батареи не требуется памяти и циклов по расписанию. Благодаря этим характеристикам ЛИА системы были испытаны в подводных аппаратах и продемонстрировали высокий потенциал для замены СКА систем на дизель-электрических ПЛ.

Срок службы СКА на ПЛ составляет от четырех до восьми лет и зависит от таких параметров, как циклы использования и температура. Срок службы ЛИА варьируется в зависимости от типа литий-ионной химии, используемой глубины цикла, скоростей заряда–разряда и температуры. Но разумно ожидать, что литий-ионная батарея для ПЛ должна иметь значительно более длительный срок службы. При тестировании их с ускоренным старением неточно воспроизводят условия, в которых работают батареи в течение своего срока службы, но результаты говорят о такой возможности.

ЛИА не требуют сложного обслуживания. Циклы проверок по расписанию не требуются для продления срока службы батареи. Кроме того, их саморазряд меньше в два раза по сравнению с Ni-Cd и NiMH, что делает литий-ион хорошо подходящим для современных приложений для измерения уровня топлива.

Технология ЛИА значительно усовершенствовалась за последние два десятилетия, благодаря чему они стали доминировать в широком спектре приложений.

Основным недостатком на сегодняшний день остается безопасность хранения ЛИА и пожарная безопасность. Однако благодаря прорывным технологиям ЛИА потенциально могут стать одними из лучших источников энергии для БПА, торпед и ПЛ, поскольку их компактная конструкция обеспечивает более высокую эффективность и повышает надежность подводного применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Электронный источник: <https://store.globaldata.com/report/lithium-ion-batteries-for-underwater-applications-thematic-research/>, дата обращения 07.05.2022 г.
2. Электронный источник: <https://www.naval-technology.com/comment/lithium-ion-batteries-lib/>, дата обращения 07.05.2022 г.
3. Электронный источник: <https://www.naval-technology.com/comment/lithium-ion-battery-technology/>, дата обращения 07.05.2022 г.
4. Электронный источник: <https://www.naval-technology.com/comment/lithium-ion-batteries-weaknesses/>, дата обращения 07.05.2022 г.
5. Электронный источник: <https://www.naval-technology.com/comment/lithium-ion-batteries/>, дата обращения 07.05.2022 г. ■

К 75-ЛЕТИЮ Л.Г. КУЗНЕЦОВА

Совет директоров АО «Компрессор»,
контакт. тел. (812) 295 5090



Генеральный директор ОАО «Компрессор», генеральный конструктор, председатель Совета директоров АО «Компрессор», профессор, доктор технических наук Леонид Григорьевич Кузнецов родился 19 июля 1947 г. в Кадуйском районе Вологодской области. В 1966 г. он окончил Ленинградский монтажный техникум. В 1967 г. был призван на службу в Вооруженные силы СССР в ракетные войска стратегического назначения, после обучения приобрел специальность старшего механика компрессорных станций. Затем был переведен на космодром «Байконур», где получил специальность по жидкостным реактивным двигателям. После службы в армии в 1969 г. начал работать на Череповецком металлургическом заводе, где занимал должность механика цеха. В 1971 г. переехал в Ленинград и поступил в Ленинградский политехнический институт им. М. Калинина (ныне Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого). В это же время начал работать на заводе «Компрессор» в должности механика 1-го цеха, где зарекомендовал себя ответственным, целеустремленным специалистом, и его назначили сначала заместителем начальника 3-го цеха, далее начальником 1-го цеха. В 1983–1988 гг. он – инструктор отдела оборонной промышленности в Ленинградском обкоме КПСС, курировал предприятия министерств авиационной и судостроительной промышленности. В 1988 г. Коллегия Минсудпрома утвердила его главным инженером Производственного объединения «Компрессор», с 1994 г. и вплоть до 2005 г. Леонид Григорьевич возглавлял ОАО «Компрессор» сперва как генеральный директор, а затем до 2015 г. как генеральный директор – главный конструктор предприятия. С 2015 г. по настоящее время Л. Г. Кузнецов – генеральный конструктор АО «Компрессор».

Предприятия, где более 50 лет трудится Л. Г. Кузнецов, было основано инженером-изобретателем Владимиром

Степановичем Барановским в 1877 г. Тогда оно называлось «Машино-пароходостроительный завод В. Барановского в С.-Петербурге». Первоначально на нем производились пушечные гильзы, дистанционные трубки (взрыватели), гранаты, лафеты, чугунные и стальные снаряды, приборы снаряжения и разряжения артиллерийских патронов, гидравлические и механические прессы для переобжимки стреляных гильз различных калибров. Первая скорострельная российская пушка и первый российский компрессор изобретены учеными и инженерами завода.

К разработке и созданию непосредственно компрессорного оборудования для подводных и надводных судов ВМФ предприятие приступило в 20-е гг. прошлого столетия. В 70-е гг. КБ завода впервые в стране разработало для нужд сельского хозяйства самоходные широкозахватные дождевальные машины, их серийное производство было развернуто на специально построенных заводах в городах Первомайск и Кропоткин.

Вся дальнейшая история АО «Компрессор» неразрывно связана с именем Леонида Григорьевича. Начало управления им предприятием пришлось на середину 90-х гг. прошлого столетия, разгар кризиса в России. Для сохранения основного производства, высококвалифицированных специалистов-компрессорщиков был открыт цех по производству товаров народного потребления, выпускавший от замков до штор для ванн. В то же время был налажен выпуск газобаллонного оборудования для автомобилей, запущены в серию специальные компрессоры для производства пластиковой тары. В этот период создается компрессорное оборудование для энергетики и начинается изучение потребностей газовой отрасли. Таким образом, отсутствие военных заказов не привело к гибели «Компрессора», а опытные кадры – инженеры, конструкторы и рабочие, проработавшие на предприятии 40 лет и более – смогли передать опыт более молодым коллегам.

В 1994 г. Л. Г. Кузнецов без отрыва от производства защитил кандидатскую, а в 2001 г. – докторскую диссертацию. С января 2002 г. и по сей день он читает три курса в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики: «Компрессорные машины», «Современные проблемы энергомашиностроения», «Машины низкотемпературной техники». Руководит научными работами магистров и аспирантов.

На основе собственного научного и производственного опыта им разработан ряд методических пособий: «Научные основы криологии: методические указания и контрольные работы для студентов специальности 140504 факультета заочного обучения и экстерна»; «Методические указания по расчету автоматизированных пластинчато-ребристых конденсаторов-испарителей»; «Методические указания по выполнению дипломных проектов и работ для студентов специальности 070200 и 101700 всех форм обучения» и ряд других.

Он и сам – автор более 200 научных работ и патентов.

Сегодня Л. Г. Кузнецов – член международных академий: инженерной, холода, информатизации, Санкт-Петербургской инженерной академии. Он ведет активную общественную деятельность как член Промышленного совета Санкт-Петербурга, общественного совета Выборгского района, ассоциаций компрессорщиков и пневматиков, промышленных предприятий города, судостроителей Санкт-Петербурга и Ленинградской области, маркетинг-клуба.

Состоит в редакционных советах журналов «Компрессорная техника и пневматика», «Морской вестник», где нередко публикует свои статьи. Принимает участие в Попечительском совете СПбГПУ, диссертационном совете Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого по специальности 050403. Он также – член Центральной ревизионной комиссии Общероссийской общественной организации «Союз машиностроителей России», делового клуба «Вологодское землячество в Санкт-Петербурге» и попечительского Совета «Газового союза».

Л. Г. Кузнецов внес значительный вклад в создание компрессоров нового типа с аксиально-поршневой схемой движения, экологически чистых источников холода, в качестве которых приняты расширительные машины – детандеры, уникальных испытательных и измерительных стендов. При его непосредственном участии было создано несколько поколений высокоавтоматизированного компрессорного оборудования на различные рабочие среды для нужд ВМФ.

Научные работы Л. Г. Кузнецова направлены:

- на изучение вопросов компрессоростроения, термодинамики при компримировании газов, совершенствования работы самодельствующих клапанов, снижения виброакустических полей работающих машин, поршне-

вых детандеров, утилизации отходов и получения метана;

- на конструирование и изготовление современных компрессоров объемного и динамического действия, установок осушки и очистки газов, а также на разработку современных материалов для снижения коэффициента трения и вибрационных ускорений, уплотнений поршней без смазки;
- на использование альтернативного топлива в интересах экологии, создание новых эффективных конструкций автомобильных газонаполнительных компрессорных станций, газобаллонной аппаратуры.

Сегодня АО «Компрессор» конкурирует с самыми именитыми производителями компрессорного оборудования за рубежом. Его оборудование имеет специальное (взрывозащищенное) и общепромышленное исполнения, сертификат сейсмостойкости 9 баллов по шкале MSK-64, удароустойчивость составляет 20 g, сертификат соответствия ТРТС032/2013 о безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением, одобрено Российским морским регистром судоходства, Норвежским Веритас, Регистром Ллойда (Великобритания). Для атомных электростанций предприятие поставляет оборудование, отвечающее специальным требованиям для атомной энергетики – 3-му классу качества.

При проектировании компрессоров для судостроения учитываются особые «жесткие» требования, предъявляемые к ним, а именно, они должны иметь минимальные массогабаритные и низкие виброакустические характеристики; высокую устойчивость к ударным нагрузкам; сохранять работоспособность на различных режимах работы, определяемых параметрами состояния всасываемого газа: номинальном, горячем, холодном, наддуве, разряжении и их сочетаниях; обеспечивать заданные рабочие характеристики в условиях крена и дифферента; работать с различными сжимаемыми средами, такими, как воздух, водород, кислород, природный газ и др. Кроме того, налагаются требования к чистоте нагнетаемого газа по остаточному содержанию паров масла и др.

В настоящее время практически нет ни одного отечественного надводного или подводного корабля, на котором не установлены компрессоры производства АО «Компрессор». Ими оборудованы всемирно известные научно-исследовательские суда, ледоколы, крупнейшие танкеры, суда космической связи, суда-снабженцы, авианосцы и крейсера, эсминцы, тральщики, суда береговой охраны, первая плавучая АЭС, ледостойкая платформа «Приразломная». Разработаны новые компрессоры с блоками осушки для дизельных подводных лодок, строящихся по проектам «Лада», «Вар-

шавянка» и атомных подводных лодок проектов «Ясень», «Борей», «Борей-А» с высокими требованиями по виброшумовым характеристикам. В числе атомных торпедо- и ракетноносцев – десятки лодок типа «Акула», «Антей», «Барс».

Выпускаются компрессорные установки для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО, для ракетных стартовых комплексов наземного и морского базирования, для космодромов «Байконур», «Плесецк», «Восточный». Вклад Л. Г. Кузнецова в успешный пуск ракеты космического назначения «Ангара-1» и «-2» отмечен Почетной грамотой.

Серийно изготавливаются компрессорные станции и блоки осушки для энергетиков (в том числе атомных станций Ленинградская, Калининская, Нововоронежская, Белоярская, Курская, Белорусская, Бушер, Кудан-Кулан и др.) и для МЧС, а также для пищевой, химической промышленности, автомобильные газонаполнительные станции (АГНКС), разработаны компрессоры для грузовых локомотивов и др.; возобновлен выпуск винтовых компрессоров с возможностью размещения в здании цеха или в блок-контейнере на открытой площадке.

В рамках реализации федеральных целевых программ, направленных на создание опережающего научного задела и технологий по разработке перспективной техники, повышения конкурентоспособности продукции и сохранения ведущих позиций на рынке компрессоростроения под руководством Л. Г. Кузнецова созданы компрессор без смазки на высокое давление, компрессор с вертикальной компоновкой, в инициативном порядке – мобильный компрессорный блок для перекачки паров сжиженного природного газа, роторный нагнетатель и еще целый ряд установок, не имеющих аналогов в России. В частности, запущены в серию азотные установки с различными способами генерации азота (мембранным, адсорбционным) взамен импортных. Начато изготовление роторных воздухоуловов для АЭС, холодильных установок.

Более чем 10-летний период инновационной деятельности позволил не только разработать, но и приступить к серийному выпуску компрессорного оборудования для ПАО «Газпром»: установок подготовки импульсного газа; газораспределительные станции; блоки подготовки топливного газа; блочные дожимные компрессорные станции газового нерастворителя, предназначенные для поддержания пластового давления воды при строительстве подземных хранилищ газа; модульные воздушные компрессорные станции типа БВКС, предназначенные для подачи сжатого воздуха, в качестве барьерного, в концевые лабиринтные сухие газовые уплотнения нагнетателя

газоперекачивающего агрегата и для других целей; дожимные компрессорные установки и многое другое.

Сегодня, участвуя в тендерах на поставку высокотехнологичного оборудования, АО «Компрессор» одерживает победу над зарубежными поставщиками оборудования, например, для ледокола пр. 23550, пассажирский автомобильно-железнодорожного паром пр. CNF11CPD, малого морского танкера пр. 03182, серии ледоколов «Арктика», «Сибирь», «Урал» пр. 22220 для Росатомфлота, ледокола пр. 22600 и др.

Кризис 90-х и непростые последующие кризисные 2008 и 2014 гг. – АО «Компрессор» под руководством Л. Г. Кузнецова выдержало достойно.

Умение Леонида Григорьевича мыслить широко, принимать неординарные решения позволило создать команду независимых организаций:

- ООО «Компрессор Газ» – разработка и изготовление компрессорного оборудования для нефтяной и газовой промышленности;
- АО «Компрессор» – выполнение НИОКР, разработка, изготовление и сервисное обслуживание компрессоров и компрессорного оборудования;
- АО НПО «Компрессор» – предприятие по изготовлению компрессорного оборудования;
- ООО «Автоматические системы» – предприятие по производству систем автоматического управления оборудованием;
- ООО «Винтовые машины» – предприятие по выпуску винтовых машин, компрессоров для локомотивов и путевого хозяйства для железных дорог, холодильное оборудование.

Работа Л. Г. Кузнецова на благо Отечества по достоинству оценена на самом высоком уровне. Он награжден орденами «Знак Почета» (1985), «Почета» (2003), «За заслуги перед Отечеством» 4-й степени (2009), «Александра Невского» (2016); медалью «300 лет Российскому флоту» (1996). Ему присвоены звания «Заслуженный машиностроитель РФ» (1998) и «Почетный судостроитель» (2003). В 2012 г. ему была присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники.

Вся жизнь Л. Г. Кузнецова посвящена служению на благо общества. Но он любит повторять: «Много сделано, но еще больше нужно сделать».

Коллеги и друзья поздравляют Леонида Григорьевича с юбилеем и желают ему здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают Леониду Григорьевичу дальнейших свершений на благо Отечества! ■

В последние годы в России наблюдается возрастающий интерес к интенсивно развивающемуся во всем мире направлению модернизации электроэнергетики на основе технологии Smart Grid (активно-адаптивных сетей), позволяющей существенно облегчить принятие правильных решений за счет использования последних достижений в развитии технических средств вычислительной техники, инфокоммуникационных технологий и интеллектуальных методов обработки информации. Несмотря на множество публикуемых материалов, посвященных этой важной теме, на сегодняшний день остается еще немало теоретических и практических проблем. Одной из них является проблема повышения качества функционирования систем электропитания (СЭП) объектов ответственного назначения ядерной энергетики, авиационно-космической, военной, судостроительной, химической, металлургической промышленности, медицины и транспорта. Повышение сложности структур, функциональности СЭП и задач управления ими, а также рост числа электроприемников, которые практически не допускают перерывов в своей работе, значительно опережает темпы развития и усовершенствования существующих методов обеспечения их эксплуатационной надежности, что приводит к авариям и происшествиям при выполнении опасных технологических процессов, часть из которых имела катастрофические последствия. Ситуацию усугубляют изменения природно-климатических и погодных условий на Земле и, как следствие, участвующая повторяемость катастрофических воздействий (штормы, цунами, смерчи, землетрясения, оползни, пожары и геомагнитные бури), выходящих за рамки ожидаемых условий эксплуатации. Даже незначительные перерывы в электроснабжении ответственных комплексов в условиях жестких временных ограничений могут повлечь за собой опасность для жизни и здоровья людей, привести к значительному материальному ущербу и тяжелым отрицательным воздействиям на окружающую среду.

Указанные обстоятельства предопределили пересмотр традиционных подходов к проектированию систем электропитания, которые уже не приводят к желаемым результатам. По мере усложнения структур систем электропитания и задач управления ими все более значимыми становятся общесистемные вопросы, связанный не только со свойствами их составных частей – элементов и подсистем, но также с за-

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ВЫСОКООТВЕТСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Смирнов, канд. техн. наук, вед. инженер НИЛ,

Ю.Ф. Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, гл. специалист по НИОКР,

*А.Н. Рудаков, начальник НПЦ, АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. +7 (911) 918 3391, (812) 271 6774*

кономерностями функционирования объекта в целом. Они требуют поиска новых подходов к построению высоконадежных систем, допускающих перенос, адаптацию и интерпретацию перспективных результатов, полученных в различных областях теоретического и эмпирического знания, и учитывающих ранее накопленный опыт применения широкого диапазона методов и средств повышения структурной и функциональной надежности и безопасности. Поэтому теоретические исследования таких систем и вопросы их проектирования актуальны и имеют большую практическую ценность.

Объектом исследования данной работы являются СЭП, а предметом исследования – вопросы проектирования СЭП с адаптивным управлением. Цель работы – разработка концептуальной модели СЭП объектов ответственного назначения на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ). Предлагаемый подход дает возможность обеспечить непрерывность функционирования системы в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, риска и жестких временных ограничений, учет различных видов неопределенности, а также минимизацию человеческого фактора при интерпретации состояний и выборе управляющих воздействий и сокращение времени восстановления работоспособности системы. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- рассмотреть основные особенности СЭП объектов ответственного назначения как объектов проектирования;
- обосновать целесообразность использования при проектировании технологий ИИ;
- разработать концептуальную модель СЭП с адаптивным управлением.

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ОБЪЕКТОВ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ КАК ОБЪЕКТОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

СЭП представляет собой сложную систему, состоящую из объекта

управления и системы управления и предназначенную для получения, преобразования и распределения электроэнергии между электроприемниками с различными требованиями к ее надежности и качеству. Составные элементы СЭП можно рассматривать как системы, объединенные в единое целое в соответствии с определенными принципами и функционирующие не изолированно друг от друга, а во взаимодействии: свойства одного элемента в общем случае зависят от условий, определяемых поведением других элементов.

При проектировании современных СЭП объектов ответственного назначения, относящихся к категории критичных по последствиям отказов, необходимо учитывать следующие основные особенности и имеющиеся проблемы, существенные для достижения целей проектирования:

- наличие резервированных элементов с различными связями между ними, разнообразными электрическими преобразованиями;
- функционирование СЭП характеризуется множеством возможных состояний (рис. 1) и режимов работы, сложностью перехода из одного состояния или режима работы в другое, динамикой функциональности и приоритетами выполняемых задач;
- сложный и неоднозначный характер связи между наблюдаемыми параметрами и состоянием системы;
- многообразие совместно воздействующих на систему разнообразных дестабилизирующих факторов, имеющих стохастический характер с неизвестным синергетическим эффектом от их совместного действия и обуславливающих отказы и сбои (рис. 2);
- функционирование в условиях жестких временных ограничений на подготовку к применению, реагирование на возникновение аварийных и нештатных ситуаций, выполнение циклограмм работы электроприемников и переходов из одного режима работы в другой;

Возможные состояния системы электропитания объектов ответственного назначения и ее элементов	
Классификационный признак	Группы состояний
По наличию соответствия всем требованиям технической документации	<i>Исправное</i>
	<i>Неисправное</i>
По отношению к выполнению требуемых функций	<i>Функционирования</i>
	<i>Нефункционирования</i>
По способности выполнять требуемые функции	<i>Работоспособное</i>
	<i>Частично работоспособное</i>
	<i>Неработоспособное</i>
По возможности создать опасную ситуацию	<i>Безопасное</i>
	<i>Опасное</i>
	<i>Защитное</i>
По отношению к работе в режиме	<i>Подготовки к работе в режиме</i>
	<i>Входа в режим</i>
	<i>Работы в режиме</i>
	<i>Выхода из режима</i>
	<i>Дежурное</i>
По отношению к отказу	<i>Нормальное</i>
	<i>Предотказное</i>
	<i>Аварийное</i>
	<i>Ремонтное</i>
	<i>Послеаварийное</i>
	<i>Предельное</i>

Рис. 1. Классификация состояний СЭП и ее элементов

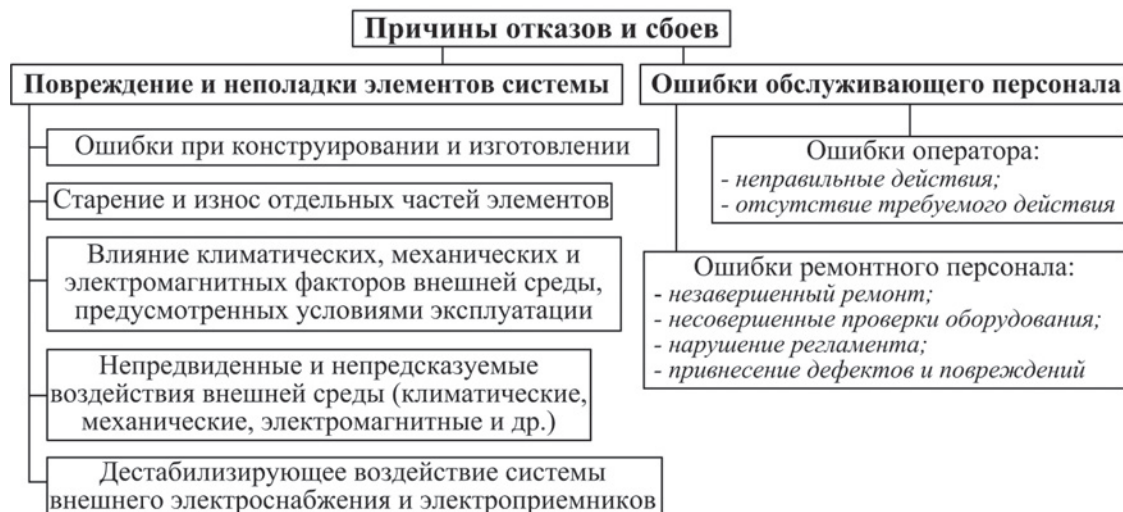


Рис. 2. Классификация причин отказов и сбоев в СЭП

- необходимость обеспечения высоких требований к таким эксплуатационным свойствам, как:
 - безотказность элементов СЭП – способность непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения;
 - отказоустойчивость – способность технической системы продолжать выполнение заданных функций при возникновении сбоев и отказов в отдельных подсистемах, блоках, узлах и элементах в ожидаемых условиях эксплуатации;
 - живучесть – способность противостоять каскадному или цепочечному развитию критических отказов из возникших дефектов и повреждений с массовым отклю-

- чением потребителей электропитания и сохранять ограниченную работоспособность, обеспечивающую локализацию аварии и безаварийную остановку технологического процесса при воздействиях, не предусмотренных условиями эксплуатации;
- безопасность – способность не создавать опасных ситуаций для жизни и здоровья людей, а также для окружающей среды во всех возможных режимах работы и аварийных ситуациях;
- наличие различных видов неопределенностей, оказывающих влияние на качество функционирования СЭП. Классификация неопределенностей при эксплуатации СЭП по источнику их происхождения приведена на рис. 3;

- необходимость комплексного использования результатов, полученных в различных областях теоретического и эмпирического знания (рис. 4), при проектировании СЭП. Перечисленные специфические особенности СЭП являются основополагающими при построении на одном из первых этапов проектирования концептуальной модели – идейной основы будущей системы, отображающей в целом наиболее существенные аспекты ее структурно-функциональной организации, знание которых требуется для моделирования на нижних уровнях декомпозиции. От степени адекватности концептуальной модели зависит эффективность использования всего арсенала методов, способов и технических решений, позволяющих обеспечить неповреждаемость, наблюдаемость и управля-



Рис. 3. Классификация неопределенностей при эксплуатации СЭП по источнику их происхождения



Рис. 4. Методологическая и прикладная основа проектирования СЭП

емость в СЭП при функционировании в условиях различного вида неопределенностей.

Поскольку традиционные технологии проектирования имеют экстенсивный характер и не ориентированы на снятие неопределенностей путем решения трудно формализуемых и слабо структурированных задач, предлагается подход к построению СЭП, основанный

на комплексном использовании методов и технологий теории ИИ.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

При выборе концепции построения СЭП предлагается использовать бионический подход, активно применяемый

специалистами по ИИ при совершенствовании или создании новых технических устройств. Такой подход позволяет использовать весь богатый опыт, накопленный объектами живой природы и человечества в длительном процессе эволюционного развития и основанный на принципах целесообразности, рациональности, адаптивности, естественного и искусственного отбора и самооргани-



Рис. 5. Классификация эвристических алгоритмов поисковой оптимизации на основе природных механизмов принятия решений

зации. В связи с этим широкое применение для решения трудно формализуемых и слабоструктурированных задач получили эвристические технологии, использующие продукционные системы, байесовские сети доверия, искусственные нейронные сети (ИНС), нечеткие системы и эвристические алгоритмы, заимствующие идеи из процессов, происходящих в природе (рис. 5).

Поскольку вершиной процесса эволюции является человек, достигший существенных преимуществ перед сложными техническими системами в отношении отказоустойчивости, живучести

и безопасности, необходимо рассмотреть наиболее значимые факторы, которые позволяют сохранять, ускоренно восстанавливать и укреплять здоровье. На рис. 6 приведена упрощенная модель состояния человеческого организма, которая является основой более подробного исследования позитивных факторов, обуславливающих здоровье человека.

Анализ данной модели показывает, что ключевую роль в процессе приспособления организма к изменяющимся условиям внешней и внутренней среды играют непрерывные информационные

процессы сбора, систематизации, обработки, хранения и использования информации, наличие структурно-функционального резерва, своевременность и оперативность выполнения профилактических и восстановительных мероприятий с необходимым качеством. Для сбора информации применяются разнообразные средства, отличающиеся принципами функционирования. При этом используемая информация также характеризуется разнообразием ее видов:

- по источнику происхождения (биологическая, социальная),



Рис. 6. Модель здорового состояния человеческого организма

- по способу восприятия (визуальная, аудиальная, тактильная, обонятельная, вкусовая);
- по способу представления (графическая, текстовая, числовая, звуковая, видео) и т.д.

Таким образом, уменьшение информационной энтропии, характеризующей количество неопределенности в информационной биосоциальной системе (организме человека) до минимально возможной величины достигается за счет поступления ценной (полной, своевременной, достоверной, доступной, репрезентативной, актуальной и понятной) информации из внешней среды и эффективного преобразования имеющейся информации.

Следует отметить, что существенные преимущества человека перед остальными живыми организмами достигаются за счет социальной составляющей жизнеобеспечения. Выделим следующие основные социальные аспекты жизнеобеспечения, являющиеся перспективными с точки зрения реализации в разрабатываемой СЭП:

- постановка диагноза на основе симптомов и синдромов (клинической картины) с учетом данных истории болезни, отражающих предысторию больного, и биографии (вредная профессия, экологическая обстановка и т.д.);
- лечение болезни путем устранения ее причин, а не симптомов. Лечение путем устранения симптомов является допустимым только в крайних случаях ради облегчения состояния больного;
- мониторинг состояния здоровья с целью своевременного выявления болезней на ранней стадии их развития;
- своевременность и оперативность профилактических мероприятий и хирургических операций с целью лечения или диагностики;
- применение иммунизации, нацеленной на приобретение человеком иммунитета против распространенных инфекций и появление у организма активной и пассивной биологической устойчивости к воздействию инфекционных агентов;
- оперативный доступ к справочной, экспертной, нормативной, исследовательской и другой необходимой информации, облегчающей процесс принятия решений, связанных со здоровьем.

Для реализации рассмотренных выше положений предлагается включить в состав СЭП ремонтный персонал, интеллектуальную систему поддержки принятия решений (ИСППР) и подсистему информационного взаимодействия с внешними системами. На-

личие ремонтного персонала позволит своевременно проводить необходимые работы по селективному отключению и замене как отказавших элементов, так и элементов, находящихся в предотказном состоянии, без прерывания работы СЭП. Для ремонта в рабочем состоянии необходимы следующие условия:

- структурная избыточность элементов, выполненных по блочному принципу;
- возможность конструктивного исполнения производить замену элемента, без отключения питания других элементов;
- наличие в запасных частях хотя бы одного исправного элемента того же типа, что и выведенный из состава системы.

Использование ИСППР дает возможность обеспечить в автоматизированном режиме информационной и аналитической поддержкой оператора и ремонтный персонал при решении задач, характеризующихся многокритериальностью и неопределенностью: идентификации технического состояния работоспособной СЭП и ее элементов, поиска неисправностей и прогнозирования. Следует заметить, возможности ИСППР для решения задачи предупреждения потенциальных отказов, позволяющего поддерживать установленную степень готовности к использованию по назначению и снизить вероятность и тяжесть последствий отказов, позволяют перейти к стратегии технического обслуживания СЭП по фактическому или прогнозируемому состоянию.

При разработке блоков базы знаний, позволяющих копировать, моделировать и тиражировать при помощи ИСППР [1] рассуждения, опыт и знания высококвалифицированных специалистов, предлагается использовать следующие перспективные технологии теории ИИ:

- теорию нечетких множеств;
- методы нечеткой логики [2, 3];
- методы моделирования рассуждений на основе прецедентов и байесовских сетей доверия (БСД) [4];
- модели и алгоритмы искусственных иммунных систем (ИИС) [5, 6].

Применение подсистемы информационного взаимодействия с внешними системами вышележащего уровня управления, обеспечивающих служб, потребителей электропитания и т.д. дает возможность оперативно получать текущую информацию, позволяющую уменьшить неопределенность целей, условий и действий в процессе принятия решений.

Большой интерес представляют механизмы фенотипической адаптации,

т.е. приспособительной перестройки в организме существующих физиологических и биохимических систем в результате программирующего действия генетической информации, которые можно использовать при разработке системы управления СЭП. Наличие в организме широкого диапазона резервных возможностей является одним из факторов, способствующих эффективной адаптации (дублирование органов, регулирующих механизмов и исполнительных функций). Например, в качестве структурных резервов организма, обеспечивающих замещение функций, выступает парность некоторых органов (почки, глаза, уши, легкие, некоторые железы внутренней секреции и т.п.), а при гибели даже миллионов нервных клеток, составляющих головной мозг, работоспособность системы сохраняется за счет обучения живых клеток для выполнения утраченных функций. Поэтому с позиции обеспечения наблюдаемости и управляемости СЭП целесообразно адаптировать свойство избыточности организма человека путем рационального введения и комплексного использования различных видов избыточности: структурной, функциональной, временной, информационной, алгоритмической и программной.

В организме человека половина всех систем органов являются регулирующими (управляющими). Нервная, кровеносная, эндокринная, лимфатическая и иммунная системы осуществляют регуляцию параметров на уровне клеток органов, функциональных систем и организма в целом на основе приема, переработки, сохранения и использования имеющейся информации для обеспечения требуемого обмена веществ, гомеостаза и оптимального уровня жизнедеятельности с целью приспособления к меняющимся условиям внешней среды. Например, нервная система, состоящая примерно из 10^{10} нейронов, обеспечивает поступление и переработку сенсорных, зрительных и слуховых сигналов. Иммунная система, дополняя нейронное восприятие, содержит примерно 10^{12} лимфоцитов (В-клеток и Т-клеток) и обеспечивает распознавание и реагирование на микроразъемы и молекулы, имеющие генетически чужеродную информацию, которая не может быть воспринята нервной системой.

При разработке концептуальной модели СЭП была рассмотрена возможность использования интеллектуальных технологий ИНС, моделирующих работу человеческой нервной системы, и искусственных иммунных систем (ИИС), моделирующих основные процессы биологической иммунной системы. Как ока-



Рис. 7. Концептуальная модель системы электропитания объектов ответственного назначения с адаптивным управлением

зались, модели современных ИНС имеют ряд серьезных недостатков. Большие трудности связаны с нахождением достаточного количества обучающих примеров, особенно для уникальных аварийных ситуаций, которые не предусмотрены условиями эксплуатации. Поведение ИНС, представляющей собой черный ящик, не всегда может быть однозначно предсказуемо, что повышает риски ее применения для объектов ответственного назначения. Модели ИНС, являясь чисто математической интерпретацией построения биологических нейронных сетей, не позволяют воспроизвести безграничный диапазон возможностей своего биологического прототипа.

Возможность человека принимать нестандартные и эвристические решения, своевременно прогнозировать тенденции изменения оперативной ситуации на основе опыта, интуиции, текущей информации, полученной в процессе согласования решения с другими людьми, с помощью визуального и органолептического методов контроля, а также информации из базы данных и базы знаний ИСППР делают необходимым участие человека в работе автоматизированных систем управления. При этом организа-

ционная иерархия должна основываться на принципах рациональности распределения задач, решаемых автоматизированной системой управления, и единства управления, с четким разграничением прав на принятие решений между логико-вычислительной подсистемой и оператором.

В отличие от ИНС методы и алгоритмы ИИС являются наиболее перспективными, т.к. сам принцип работы иммунной системы и свойства, которыми она характеризуется, максимально ориентированы на решение практической задачи своевременного обнаружения отказов и сбоев и защиты от них. Можно выделить следующие основные свойства иммунных систем, вобравшие в себя лучшие особенности биоинспирированных методов, при решении задач интеллектуальной обработки информации:

- способность к обучению (образованию новых иммунокомпетентных клеток путем соматической гипермутации);
- умение распознавать образы;
- возможность параллельной обработки значительных объемов данных;
- наличие памяти;
- пороговый механизм, регулирующий иммунный ответ;

- распределенный поиск путем непрерывной циркуляции клеток иммунной системы через кровь, лимфу и ткани, распределенные по всему организму;
- разнообразие различных рецепторов клеток иммунной системы;
- конкуренция и сотрудничество клеток иммунной системы, объединенных в сеть.

Для построения логико-вычислительной подсистемы, способной адаптироваться к внутренним и внешним условиям функционирования (отказам, сбоям, решаемым задачам и т.д.), предлагается использовать модель, в основе которой лежат комплексное использование биологических принципов и механизмов функционирования иммунной системы человека, ряд идей и принципов различных альтернативных концепций эволюции, а также эвристических приемов из различных областей знаний.

Автоматизация некоторых функций, которые ранее выполнялись оператором, позволит значительно уменьшить влияние человеческого фактора в управлении технологическими процессами, в том числе блокировать ошибочные операторские решения. Основными элемен-

тами, необходимыми для проектирования искусственного аналога иммунной системы являются:

- множество способов представления компонентов системы;
- множество механизмов, позволяющих оценить взаимодействие компонентов системы;
- множество алгоритмов адаптации, которые управляют изменением состояния системы во времени.

Рассматривая особенности функционирования организма человека с точки зрения профилактики и диагностирования различных заболеваний внутренних органов и систем, большой интерес представляет собой кожа – крупнейший специализированный орган человека. Кожа не только защищает все органы и системы организма от механических повреждений и проникновения инфекций, но и является индикатором, отражающим их состояние, окном в тело. Раннее выявление причины кожных изменений путем внимательного осмотра и учета анамнеза жизни человека позволяет поставить верный диагноз, вовремя принять необходимые меры и предотвратить серьезные последствия. Следует добавить, что симптомы, сопровождающие заболевание, могут также проявляться в форме кашля, чихания, хрипов.

Таким образом, устройство представления информации играет очень важную роль в обеспечении наблюдаемости и управляемости. Необходимая для принятия решения информация может быть представлена в виде таблиц, текстовых файлов, графиков и диаграмм с использованием различных цветовых гамм на экране монитора, а также в виде звуковых сигналов в колонках аудиосистемы в случае возникновения исключительных (аварийных, критических) ситуаций.

Предлагаемая концептуальная модель, представляющая собой совокупность обобщенных функциональных компонентов и принципов их взаимодействия между собой и внешней сре-

дой и определяющая смысловую структуру разрабатываемой СЭП, представлена на рис. 7. Разработанная модель обеспечивает возможность улучшить показатели отказоустойчивости, живучести и безопасности СЭП за счет следующих ключевых положительных эффектов:

- повышения уровня автоматизации информационных процессов, связанных с решением задач, отличающихся многокритериальностью, недостаточностью и недостоверностью информации для принятия решения, обеспечиваемого адаптивной системой управления с иммунной защитой и ИСППР;
- повышения качества управления структурным, функциональным, временным, информационным, алгоритмическим и программным резервом, обеспечиваемого адаптивной системой управления с иммунной защитой;
- повышения оперативности восстановления СЭП, связанного с обеспечением возможности проведения замены отказавших элементов в рабочем состоянии ремонтным персоналом с использованием ИСППР и подсистемы информационного взаимодействия;
- повышения уровня информационного обеспечения оператора, связанного со своевременностью получения ценной информации из внешней среды с использованием подсистемы информационного взаимодействия и возможностью представления и обработки разнотипных знаний и данных адаптивной системой управления с иммунной защитой и ИСППР.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработана концептуальная модель системы электропитания, которая отличается от известных моделей наличием в своем составе логико-вы-

числительной подсистемы, имитирующей работу естественной иммунной системы, интеллектуальной системы поддержки принятия решений и подсистемы информационного взаимодействия с внешними системами, что позволяет повысить качество функционирования СЭП. Полученные теоретические результаты могут быть использованы при проектировании СЭП как в военной, так и в гражданской промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Smirnov V.A.* Intelligent decision support system for the control of complex technical systems // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series. 2019. – Volume 1327. – Number 1. – Pages 012009. DOI:10.1088/1742-6596/1327/1/012009.
2. *Смирнов В.А., Подоплёкин Ю.Ф.* Оценка качества интеллектуальной системы для контроля технических объектов // Стандарты и качество. – 2021. – №8. – С. 98–103. DOI: 10.35400/0038-9692-2021-8-98-103.
3. *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. – Volume 537. – Number 4. – Pages 042019. DOI:10.1088/1757-899X/537/4/042019.
4. *Смирнов В.А.* Поиск неисправностей в бортовых системах управления в процессе приемочного контроля // Информационно-управляющие системы. – 2013. – № 2 (63). – С. 24–28.
5. *Смирнов В.А., Смирнов Д.В.* Разработка концептуальной модели искусственной иммунной системы прогнозирования дрейфа параметров бортовой аппаратуры // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2017. – № 4. – С. 95–108.
6. *Смирнов В.А., Смирнов Д.В.* Подход к прогнозированию дрейфа критических параметров бортовой системы управления на основе модифицированного иммунного алгоритма // H&ES Research – Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. – № 1. – С. 69–81. DOI:10.24411/2409-5419-2018-10021. ■

При проектировании поста дистанционного управления (ПДУ) движением автономного судна с берегового ЦДУ, возник вопрос о целесообразности дублирования пультов ходового мостика на ЦДУ. Первоначальный опрос судоводителей, проведенный в рамках ОКР «БЭС КФ», не позволил сформулировать требования к рабочему месту на ЦДУ. По этой причине был сделан ПДУ автономным судном, который реализовывал «офисный вариант» (без пультовых секций) рабочего места судоводителя [1]. Предполагалось, что такой дизайн ПДУ лучше подходит для размещения в офисных помещениях ЦДУ. Внешний вид поста управления МАНС представлен на рис. 1. Во время опытной эксплуатации судоводители одобрили предложенный вариант исполнения рабочего места, а вот об органах управления движением судна, которые необходимо установить на рабочем месте судоводителя на ЦДУ, единое решение не было достигнуто.

Для определения требований к ПДУ автономным судном была подобрана группа из пяти экспертов-судоводителей, которые осуществляли управление движением сухогруза «Пола Анфиса», грунтовоза «Рабочая» и танкера «Михаил Ульянов» более одного года во время опытной эксплуатации базовой технологической платформы (БТП) безэкипажного судна коммерческого флота (БЭС КФ). За время опытной эксплуатации БТП судами пройдено более 10 тыс. миль, протестирован автономный режим движения судна по траектории, включая маневры расхождения со встречными судами, выполнялось дистанционное управление движением судна от рукоятки (джойстика), расположенной на ДПУ. Экспертам предоставили опросные листы, в которых были систематизированы функциональные требования к ПДУ, к ведению вахты, к связи и другие требования. Полученные оценки экспертов были проанализированы с использованием методов групповых оценок и использованы для доработки ПДУ в части расширения функциональности, корректировки программного обеспечения, проработки установки нового оборудования и т.д. Так, например, возникла необходимость установки на автономном судне УКВ-радиостанции, которая бы позволяла оператору ЦДУ связываться с окружающими морскими автономными судами (МАНС), используя спутниковый канал связи.

В данной статье рассматриваются оценки экспертов режимов управления движением МАНС с учетом различных вариантов использования органов зада-

ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО СУДНА НА ДИСТАНЦИОННОМ ПОСТУ УПРАВЛЕНИЯ

А.С. Корнев, начальник отдела разработки систем управления судном, **А.С. Скрытка**, руководитель направления а-Навигация, АО «Ситроникс-КТ», **С.П. Хабаров**, канд. техн. наук, доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова, контакт. тел. +7 (921) 383 1499, +7 (987) 435 1371

ния команд (рукоятки, джойстик и т.д.). На основе этих данных методом групповых экспертных оценок проведен анализ необходимости дополнительной установки на ПДУ аппаратных либо виртуальных панелей.

РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО СУДНА

Эксперты-судоводители выделили следующие режимы движения автономного судна:

- по заданному маршруту в соответствии с расписанием;
- по заданному маршруту без привязки к расписанию;
- маневрирование судна на маршруте при возникновении навигационных опасностей;
- управление движением судна в открытой акватории;
- управление движением судна в узких местах;
- швартовка судна.

Движение судна по заданному маршруту в соответствии с расписанием – в данном режиме судоводитель на посту дистанционного управления строит траекторию движения судна на карте или задает координаты путевых точек вручную, далее задает расписание дви-

жения судна или вводит скорость хода судна на каждом участке траектории, после этого отправляет маршрут на исполнение в автономную навигационную систему.

Движение судна по заданному маршруту без привязки к расписанию – данный режим аналогичен режиму с расписанием, с той лишь разницей, что управление скоростью хода на участках осуществляется оператором вручную, т. е. либо задание скорости хода на всем маршруте (speed pilot), либо задание оборотов главных двигателей с помощью рукояток машинного телеграфа.

Движение судна на маршруте при возникновении навигационных опасностей – данный режим движения используется при маневрировании судна в случае возникновения навигационной опасности (например, встречное судно) во время движения судна по заданному маршруту. Автономная навигационная система автоматически строит маневр расхождения, далее оператор может утвердить выполнение предложенного маневра в автоматическом режиме либо же с использованием других средств управления (рукоятки машинного телеграфа, авторулевой и т.д.) выполнить маневр самостоятельно. На рис. 2 представлен



Рис. 1. Пост дистанционного управления МАНС

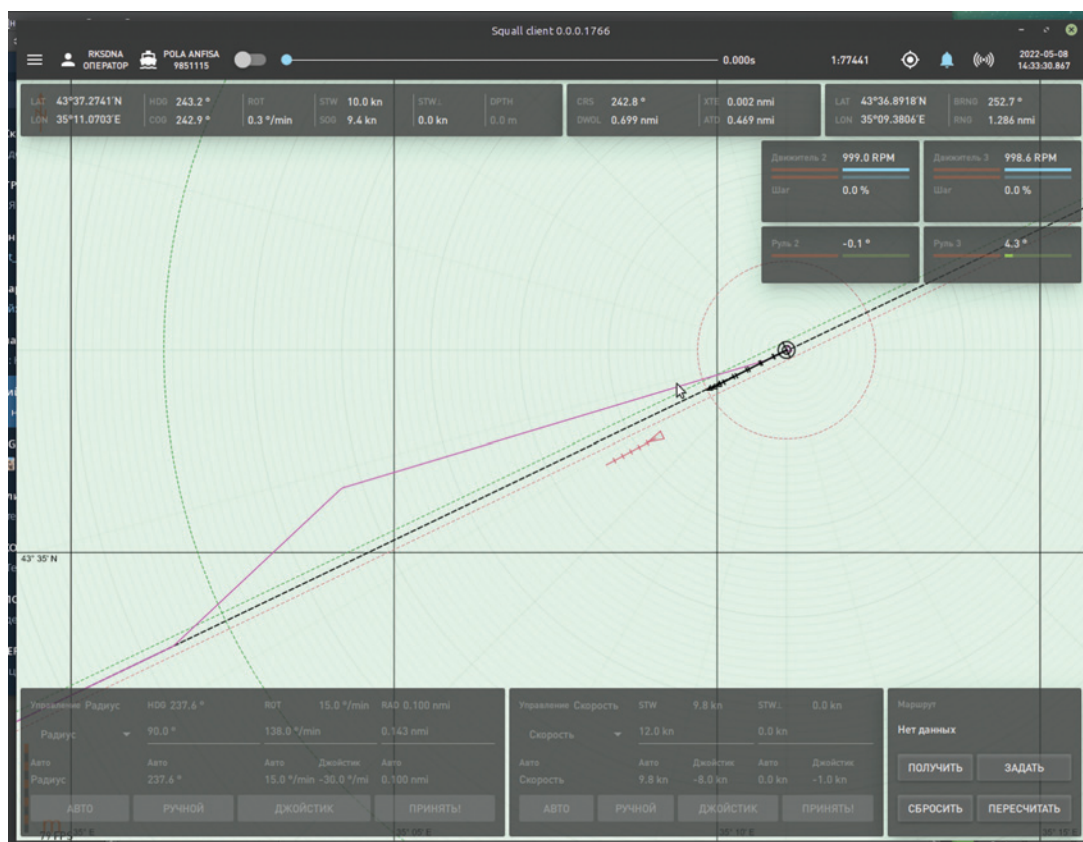


Рис. 2. Маневр обгона впереди идущего судна АНС

маневр обгона впереди идущего судна судном под управлением автономной навигационной системы (АНС).

Движение судна на открытой акватории – данный режим используется при ходе судна к месту, где разрешено движение по траектории в автоматичес-

ком режиме.

Движение судна в узкостях – данный режим используется при движении судна в узкостях, например, по фарватеру, выход из порта.

Швартовка судна – данный режим используется при подходе суд-

на к пирсу/причалу с последующей швартовкой.

Для задания команд на управление МАНС в приведенных выше режимах движения судоводители предлагают использовать органы управления по курсу и скорости, которые приведены в табл. 1.

Таблица 1

Органы управления судном

Наименование органов управления	Описание	Примечание
Управление по курсу		
Автономная навигационная система (АНС)	Совместно с системой координированного управления (СКУ) обеспечивает автоматическую стабилизацию заданного курса	Сервера АНС и СКУ расположены на судне Клиент АНС расположен на ПДУ
Рукоятки управления	Управление по курсу осуществляется заданием положения штурвала или рукоятки поворота ВРК на скоростях от самого малого хода до самого полного переднего хода. Управление по курсу на малых скоростях хода осуществляется с помощью рукояток управления упором подруливающих устройств.	Расположены на ПДУ
Панель задания курса, угловой скорости циркуляции и радиуса циркуляции (autopilot)	Задание курса, угловой скорости и радиуса поворота	Расположены на ПДУ
Джойстик	Задание значения и направления момента, который могут создавать средства активного управления движением судна	Расположены на ПДУ
Управление по скорости хода		
Автономная навигационная система (АНС)	Совместно с системой координированного управления обеспечивает стабилизацию скорости хода в автоматическом режиме	Сервера АНС и СКУ расположены на судне Клиент АНС расположен на ПДУ
Рукоятки управления	Задание оборотов главных двигателей осуществляется установкой рукояток машинного телеграфа Задание бокового упора от рукояток подруливающих устройств при движении на малых ходах	Расположены на ПДУ
Панель задания скорости хода (speed pilot)	Задание скорости хода	Расположены на ПДУ
Джойстик	Задание значения и направления силы, которую могут создавать средства активного управления движением судна	Расположены на ПДУ

ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ АВТОНОМНОГО СУДНА

Проведем обоснование размещения органов управления на ПДУ с помощью метода групповых оценок объектов, выполненных экспертами. Для этого необходимо проанализировать опыт экспертов из этой области, а далее воспользоваться методами групповых оценок, полученных данных от них.

Использование методов групповых оценок позволяет получить достоверные результаты в случае хорошо подобранной группы экспертов и согласованности их мнений [2]. Поэтому для оценки требований к использованию органов управления был проведен опрос пяти экспертов, которые осуществляли управление движением автономных судов с ПДУ более одного года. Как следует из теории обработки наблюдений, такого количество экспертов достаточно, чтобы сделать выводы с достоверностью не ниже 70%, дальнейшее увеличение количества экспертов не вносит новых данных, но может привести к ухудшению статистики [2].

Опрос проводился в табличной форме для каждого режима движения автономного судна и органов управления движением судна по курсу и скорости хода. Судоводители должны были указать, какие органы управления по курсу и скорости хода они используют для каждого режима движения. Например, если при движении судна в узкости для задания курса судоводитель использует в 40% случаях панель авторулевого, а в 60% пользуется штурвалом, то в таблице для данного режима в соответствующих полях должны стоять значения 0,4 и 0,6 соответственно (в остальных полях 0). В табл. 2 представлены результаты опроса экспертов для режима движения судна в соответствии с расписанием.

В качестве групповой оценки для каждого задатчика команд можно принять среднее взвешенное значение его оценки [2]:

$$x_i = \sum_{k=1}^l \sum_{j=1}^m q_h x_{ij}^h k_j, \quad (i=1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

где, q_h – коэффициенты весов показателей сравнения объектов; k_j – коэффициенты компетентности экспертов.

Для примера выполним расчет для управления по курсу из табл. 2. В начале уровни компетентности всех экспертов примем одинаковыми:

$$k_j^0 = \frac{1}{m}, \quad (j=1, \overline{m}), \quad (2)$$

где m – количество экспертов.

Далее для расчета используем следующие рекуррентные соотношения [2]:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1}, \quad (i=1, \overline{n}), \quad (3)$$

Задатчик команд	Эксперты				
	1	2	3	4	5
Управление по курсу					
Автоматический (АНС)	1	0,8	0,85	0	0,9
	0,89				
Задание от рукояток	0	0	0,05	1	0
	0,02				
Задание курса	0	0	0,05	0	0,1
	0,04				
Задание угловой скорости	0	0,1	0	0	0
	0,02				
Задание радиуса	0	0,1	0,05	0	0
	0,03				
Джойстик	0	0	0	0	0
	0				
Управление по скорости хода					
Автоматический (АНС)	1	1	0,9	0	0,95
	0,97				
Задание от рукояток	0	0	0,05	0	0
	0,01				
Задание скорости хода	0	0	0,05	0	0,05
	0,02				
Джойстик	0	0	0	0	0
	0				

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^t; \quad (4)$$

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t, \quad (j=1, \overline{m-1}); \quad (5)$$

$$k_m^t = 1 - \sum_{j=1}^{m-1} k_j^t; \quad (6)$$

$$\max |x_i^t - x_i^{t-1}| < E, \quad (7)$$

где x_i^t – групповая оценка на для i -го объекта на t -м шаге на основе индивидуальных оценок x_{ij} ; λ^t – нормировочный коэффициент; k_j^t – коэффициент компетентности i -го эксперта на t -м шаге; k_m^t – коэффициент компетентности i -го эксперта из условия нормировки.

Окончание расчета определяется признаком окончания итерационного процесса (7).

Для варианта «управления по курсу» (см. табл. 2) начальный уровень компетентности всех экспертов принимаем в соответствии с (2):

$$k_j^0 = \frac{1}{5}, \quad (j=1, \overline{5}).$$

Рассчитываем групповую оценку для 1-го шага в соответствии с (3):

$$x_1^1 = \frac{(1+0,8+0,85+0+0,9)}{5} = 0,71;$$

$$x_2^1 = \frac{(0+0+0,05+1+0)}{5} = 0,21;$$

$$x_3^1 = \frac{(0+0+0,05+0+0,1)}{5} = 0,03;$$

$$x_4^1 = \frac{(0+0+0+0+0,1)}{5} = 0,02;$$

$$x_5^1 = \frac{(0+0,1+0,05+0+0)}{5} = 0,03;$$

$$x_6^1 = \frac{(0+0+0+0+0)}{5} = 0.$$

Рассчитываем нормировочный коэффициент для 1-го шага в соответствии с (5) и (6):

$$\lambda^1 = 0,71(1+0,8+0,85+0,95) + 0,21(0,05+1) + 0,03(0,05+1) + 0,02 \cdot 0,1 + 0,03(0,1+0,05) + 0 = 2,81.$$

Рассчитываем компетентности экспертов для 1-го шага в соответствии с (5) и (6):

$$\lambda^1 = \frac{1}{2,81} (1+0,8+0,85+0,95) + 0,21(0,05+1) + 0,03(0,05+1) + 0,02 \cdot 0,1 + 0,03(0,1+0,05) + 0 = 2,81;$$

$$k_1^1 = \frac{1}{2,81} (1 \cdot 0,71 + 0 \cdot 0,21 + 0 \cdot 0,03 + 0 \cdot 0,02 + 0 \cdot 0,03 + 0) = 0,25;$$

$$k_2^1 = 0,21; \quad k_3^1 = 0,23; \quad k_4^1 = 0,07; \quad k_5^1 = 0,24.$$

Далее задаем необходимую нам точность E для окончания итерационного процесса, повторяем расчет для 2-го шага и проверяем условие (7), если оно не выполняется, то повторяем расчет

Результаты расчета групповой оценки экспертов

Задатчик команд	Движение судна				Швартовка судна
	По маршруту без привязки к расписанию	На маршруте при возникновении навигационных опасностей	На открытой акватории	В узкостях	
Управление по курсу					
Автоматический (АНС)	0,88	0,75	0,78	0,02	0
Задание от рукояток	0,03	0,08	0,07	0,9	0,86
Задание курса	0,05	0,14	0,12	0,08	0
Задание угловой скорости	0,02	0,01	0,01	0	0
Задание радиуса	0,02	0,02	0,02	0	0
Джойстик	0	0	0	0	0,14
Управление по скорости хода					
Автоматический (АНС)	0,04	0,82	0,82	0,08	0
Задание от рукояток	0,48	0,11	0,1	0,88	0,86
Задание скорости хода	0,48	0,07	0,08	0,04	0
Джойстик	0	0	0	0	0,14

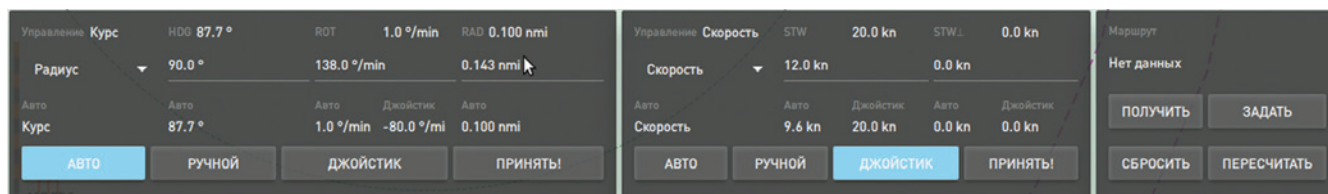


Рис. 3. Виртуальная панель АНС

для 3-го шага и так далее.

Окончательные результаты расчета групповой экспертной оценки при непосредственном оценивании требований к органам управления для режима движения судна в соответствии с расписанием приведены в обобщенной графе под оценкой экспертов табл. 2. Результаты расчетов групповой экспертной оценки для остальных режимов движения судна приведены в табл. 3.

На основе полученных значений групповых оценок органов управления были сделаны следующие доработки ПДУ:

- движение МАНС на траектории, включая движение по маршруту при возникновении навигационных

опасностей, осуществляется в автоматическом режиме;

- в нижней части экрана АНС предусмотрена виртуальная панель управления режимами движения судна. Наличие такой панели позволяет быстро переключаться с одного органа управления движением судна на другой и помогает реализовать все варианты, запрошенные судоводителями. Внешний вид панели представлен на рис. 2 в нижней части экрана АНС и на рис. 3;
- в АНС предусмотрена поддержка подключения аппаратного джойстика и рукояток машинного телеграфа для удобства оператора при

работе в режиме прохода узкостей и швартовки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование результатов, полученных на основе метода групповых оценок, позволило разработать единое решение органов управления движением МАНС и сделать соответствующие доработки ПДУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев А.С., Скрыпка А.С., Хабаров С.П. Автономное судовождение на действующих судах // Морской вестник. – 2022, №1(81). – С. 92–95.
2. «Интеллектуальные ИС» © С.Хабаров 2008 (habarov.spb.ru) (Дата обращения 20.05.2022 г.). ■

Известно, что преобладающее большинство морских судов, проектируемых и строящихся для отечественных заказчиков, имеет ледовый класс и предназначено для регулярной эксплуатации в арктических или замерзающих неарктических морях [1]. В настоящее время флот с классом Российского морского регистра судоходства (РМРС) насчитывает около 3000 судов ледового плавания. Более 500 судам присвоен ледовый класс Arc4 и выше, а более 40 судов относятся к ледоколам [2].

Одним из основных национальных интересов Российской Федерации в Арктике является развитие Северного морского пути (СМП) в качестве конкурентоспособной на мировом рынке национальной транспортной коммуникации [3]. Таким образом, обеспечение круглогодичного, безопасного, бесперебойного и экономически эффективного судоходства в акватории СМП следует рассматривать в качестве приоритетной глобальной задачи, стоящей на сегодняшний день перед отечественной судостроительной промышленностью. Ее решение требует в первую очередь осуществления строительства транспортных судов ледового плавания, а также ледокольного, аварийно-спасательного и вспомогательного флотов. Цели, основные направления и задачи, механизмы и показатели эффективности реализации государственной политики в области арктического судостроения определены в соответствующих документах стратегического планирования, утвержденных указами Президента РФ или распоряжениями Правительства РФ и составляющих основу для разработки государственных программ [3–6].

Развитие Арктической зоны Российской Федерации в части увеличения объема экспортно-импортных, каботажных и транзитных перевозок грузов (прежде всего, вывоза добытых минерально-сырьевых ресурсов) в акваториях СМП и других арктических морских транспортных коридоров предусматривает разработку масштабных комплексных проектов в области ледового судостроения, в том числе имеющих важное геополитическое и экономическое значение. Успешная реализация научно-технической и производственно-технологической составляющих указанных проектов не представляется возможной без одновременной подготовки кадров, обладающих специальными, часто уникальными профессиональными знаниями и компетенциями как на различных уровнях высшего образования, так и в рамках дополнительного профессионального образования.

Согласно Стратегии [4], основные задачи в сфере развития инфраструктуры Арктической зоны РФ реализуются в том числе за счет совершенствования

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ОБУЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЮ И КОНСТРУИРОВАНИЮ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

В.В. Якимов, науч. сотрудник
АО «Центральный научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт морского флота»,
Г.Е. Егизаров, начальник технического управления
ПАО «Выборгский судостроительный завод»,
контакт. тел. +7 (921) 866 5189

системы профессионального и дополнительного образования. В то же время в Стратегии [6] отмечено, что серьезной кадровой проблемой судостроительной промышленности является профессионально-квалификационный дисбаланс между компетенциями работников и квалификационными требованиями.

ВИДЫ И ПРОГРАММЫ ОБУЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ АРКТИЧЕСКОГО СУДОСТРОЕНИЯ

Вопросы подготовки инженерных кадров для развития водных путей при освоении арктических регионов по направлениям, связанным с гидротехническим строительством портовой инфраструктуры, управлением водным транспортом, гидрографическим обеспечением судоходства и др., подробно рассмотрены в работе [7]. В настоящей статье приведена информация, относящаяся к обучению специалистов именно в области арктического судостроения.

В 2014 г. в Нижегородском государственном техническом университете им. Р.Е. Алексеева по предложению КБ по проектированию судов «Вымпел» и ЦКБ «Лазурит» была организована программа очной магистратуры «Проектирование судов и морских сооружений, эксплуатирующихся в ледовых условиях» [8]. Указанная программа включает такие профильные дисциплины, как «Корабельная ледотехника», «Ходкость судов ледового плавания», «Проектирование судов ледового плавания», «Прочность и конструкция судов ледового плавания», «Устойчивость и системы судов ледового плавания», «Подводные и подледные технологии освоения месторождений на шельфе». Следует отметить, что в рамках учебного процесса активно используется ледовый бассейн.

Другие отечественные вузы на сегодняшний день не предлагают отдельных основных образовательных программ высшего образования, ориентированных исключительно на арктическое судостроение. В то же время обучение соответствующим профильным дисциплинам может

осуществляться по традиционным образовательным программам по общему кораблестроению, т.е. по сопутствующим.

Например, в Санкт-Петербургском государственном морском техническом университете в программу очной магистратуры «Проектирование, конструкция и техническая эксплуатация судов и объектов океанотехники» входят дисциплины «Морская ледотехника», «Конструкция судов ледового плавания», «Проектирование ледоколов и судов ледового плавания»/«Ледовая навигация» (по выбору) [9]. При этом общая трудоемкость «ледовых» дисциплин составляет 324 акад. часа, в том числе аудиторных занятий – 144 акад. часа (при соотношении лекций и практик – 1:1), что формально не превышает 15% объема блока «Дисциплины». Данную оценку можно считать весьма условной, так как аспекты, касающиеся создания судов ледового плавания, как правило, рассматриваются и в других дисциплинах программы.

Кроме того, в СПбГМТУ на протяжении нескольких лет реализуются дополнительные образовательные программы по арктическим технологиям в судостроении для отраслевых специалистов, в том числе из зарубежных организаций-партнеров (например, программа «Конструкция судов ледового плавания, методы расчета и моделирования ледовых нагрузок на корпусные конструкции» [9]).

Среди дополнительных образовательных программ следует выделить программу профессиональной переподготовки «Проектирование судов ледового плавания и испытание моделей судов в ледовом бассейне» объемом 254 акад. часа, предлагаемую в НГТУ им. Р.Е. Алексеева [8].

Активную и значимую деятельность в указанном направлении ведет РМРС, признанный мировой лидер в области разработки нормативно-методической базы и классификации судов ледового плавания. Регулярной практикой стали конференции и семинары, проходящие под эгидой РМРС и посвященные актуальным вопросам совершенствования и применения нормативных требований

к судам ледовых классов и ледоколам [2]. В соответствии с заявленной приоритетной задачей данные мероприятия формируют, прежде всего, информационно-дискуссионную площадку, предназначенную для прямого и открытого взаимодействия между классификационным обществом и представителями отрасли, а поэтому не носят системный и последовательный образовательный характер.

За рубежом наиболее известной и авторитетной программой очной магистратуры в области арктических технологий является программа двойного диплома «Nordic Master in Cold Climate Engineering», предусматривающая три различные специализации – «Land Track», «Sea Track» и «Space Track» [10]. Общая трудоемкость указанной программы составляет 120 ECTS, в том числе выпускной квалификационной работы – 30 ECTS. Специализация «Sea Track», ориентированная на проектирование и эксплуатацию арктических судов и морских сооружений, реализуется совместно Норвежским университетом естественных и технических наук (NTNU) и Университетом Аалто (Aalto). Следует отметить, что в рамках учебного процесса проводятся полевые работы на базе Университетского центра Свальбарда (UNIS) и лабораторные исследования в ледовом бассейне Университета Аалто (Aalto).

В 2018 г. в Китайском научно-исследовательском центре судостроения (CSSRC) впервые был организован и проведен полноценный обучающий курс по проектированию и конструированию судов ледового плавания в рамках непрерывного профессионального образования работников судостроительной отрасли [11]. В дальнейшем указанный курс принял регулярный характер.

Кроме того, можно упомянуть инжиниринговую компанию Aker Arctic Technology Inc., которая начиная с 2020 г. организует и проводит ежемесячные вебинары, посвященные актуальным практико-ориентированным вопросам проектирования и эксплуатации судов ледового плавания [12].

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ОБУЧЕНИЯ «PIXEL»: ПРЕДПОСЫЛКИ И УСЛОВИЯ РАЗРАБОТКИ

Начиная с середины 2000-х гг., происходит интенсивное развитие и внедрение цифровых образовательных технологий, основанных на использовании компонентов электронной информационно-образовательной среды и позволяющих при реализации образовательных программ осуществить переход к полному или частичному электронному обучению (т.н. «e-learning»). Под электронным обучением понимают организацию образовательной деятельности с применением

содержащейся в базах данных и используемой при реализации образовательных программ информации, обеспечивающих обработку информационных технологий, технических средств, а также информационно-телекоммуникационных сетей, предназначенных для передачи по линиям связи указанной информации, взаимодействие обучающихся и педагогических работников [13]. Применительно к арктическому судостроению переход к полному электронному обучению представляется, по мнению авторов, в ближайшей перспективе маловероятным и в целом неоправданным вследствие ее относительно узкой специализации и преобладания в ней довольно сложной инженерно-технической составляющей, что требует непосредственного участия преподавателя в образовательном процессе. Однако значительные (и продолжающие увеличиваться) объем и скорость информационного потока, характерные для современной образовательной среды, в любом случае обуславливают необходимость использования электронных образовательных и информационных ресурсов как при контактном, так и при дистанционном обучении.

Устойчивая идея разработать информационную систему поддержки обучения проектирования и конструирования судов ледового плавания появилась осенью 2016 г. в ходе проведения одним из авторов лекционных и практических занятий по дисциплине «Конструкция судов ледового плавания» для магистрантов СПбГМТУ. Оказалось, что представление даже минимального объема учебного материала в самом тривиальном электронном виде позволяет заметным образом повысить уровень восприятия информации современными студентами и качество обратной связи с ними, что закономерно способствует росту общей эффективности учебных занятий при сохранении апробированной традиционной формы их организации. На начальном этапе в виде электронных презентаций на русском языке были подготовлены материалы к лекциям, тематика которых целиком соответствовала содержанию дисциплины «Конструкция судов ледового плавания», определенному в ее рабочей программе. В дальнейшем спектр рассматриваемых задач был расширен за пределы указанной дисциплины и стал дополнительно охватывать актуальные теоретические и прикладные вопросы проектирования судов ледового плавания, ледовой прочности, ледовой ходкости, морской ледотехники, обеспечения безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях. В 2018 г. была опубликована первая версия информационной системы поддержки обучения проектирования и конструирования судов ледового плавания, получившая название «PIXEL» [14]. Ее разработка выполнялась в инициативном порядке.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ОБУЧЕНИЯ «PIXEL»: ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА И ПРЕДМЕТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Информационная система поддержки обучения «PIXEL», созданная на языке программирования Object Pascal в интегрированной среде разработки программного обеспечения Borland Delphi 7, имеет гибкую модульную структуру и графический пользовательский интерфейс (рис. 1). Она объединяет на единой автоматизированной платформе электронные образовательные и информационные ресурсы, которые могут использоваться непосредственно при обучении проектированию и конструированию судов ледового плавания. Контент и интерфейс программного продукта полностью разработаны на английском языке, что в условиях глобализации образовательной деятельности и развития международной академической мобильности можно отнести к очевидным конкурентным преимуществам.

Центральными элементами системы являются образовательные блоки. Они содержат подготовленные в структурированном и унифицированном виде презентационные материалы и классифицируются по уровню сложности на три обучающих курса – «Basic Course» («Базовый курс»), «Intermediate Course» («Промежуточный курс») и «Proficient Course» («Профессиональный курс»). Базовый курс рекомендуется использовать при реализации основных образовательных программ высшего образования для студентов и аспирантов, обучающихся по общему кораблестроительному направлению, а профессиональный курс – при реализации дополнительных образовательных программ для специалистов, занятых в судостроительной отрасли. Промежуточный курс может быть ориентирован на обе целевые категории слушателей. Каждый из указанных курсов состоит из 12 тем (всего – 36 тем), краткая характеристика которых дана в табл. 1–3.

Кроме образовательных блоков, система содержит ряд информационных блоков, предназначенных, прежде всего, для поддержки практических занятий и самостоятельной работы обучающихся.

Блок «Regulatory» («Нормативный») включает в себя размещенные в систематизированном виде действующие национальные и международные нормативные материалы в части обеспечения проектирования и эксплуатации судов ледового плавания, в том числе:

- требования Правил РМРС к ледовым усилениям судов ледовых классов и ледоколов;
- требования Правил РМРС к конструкции ледовых усиления корпуса

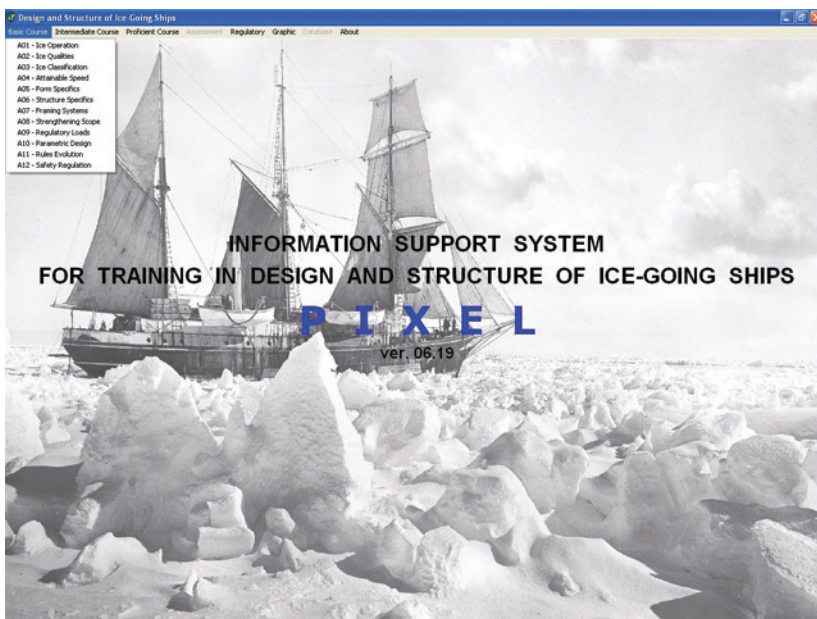


Рис. 1. Графический пользовательский интерфейс системы «PIXEL»

Таблица 1

Краткая характеристика тем обучающего курса «Basic Course»

Шифр темы	Характеристика темы
A01 – Ice Operation	Эксплуатация судов в ледовых условиях. Режимы движения судна во льдах. Сценарии механического взаимодействия корпуса судна и ледяного покрова.
A02 – Ice Qualities	Ледовые качества судов. Классификация морского льда. Влияние ледовых условий на ледовую ходкость и ледовую прочность судна.
A03 – Ice Classification	Классификация судов ледового плавания: традиционные суда, суда двойного действия и ледоколы. Описание и сопоставление ледовых/полярных классов. Обоснование проектной категории ледовых усилений корпуса судна.
A04 – Attainable Speed	Требования к минимальной мощности энергетической установки судов ледового плавания. Понятие ледопродоходимости судна. Оценка достижимой скорости хода судна во льдах.
A05 – Form Specifics	Особенности и требования к форме корпуса судов ледового плавания. Влияние формы корпуса на величину ледового сопротивления и ледовой нагрузки.
A06 – Structure Specifics	Особенности конструкции корпуса судов ледового плавания. Элементы конструкций корпуса судна в районах ледовых усилений.
A07 – Framing Systems	Системы набора бортовых конструкций корпуса судов ледового плавания. Взаимное расположение основных и рамных корпусных связей в районах ледовых усилений.
A08 – Strengthening Scope	Объем ледовых усилений судов ледового плавания. Районы ледовых усилений корпуса судна.
A09 – Regulatory Loads	Определение нагрузок от воздействия льда на корпус судна согласно действующим требованиям национальной и международной нормативной документации.
A10 – Parametric Design	Параметрическое проектирование конструкций ледовых усилений корпуса судна согласно действующим требованиям национальной и международной нормативной документации.
A11 – Rules Evolution	Эволюция требований национальной нормативной документации к ледовым усилениям судов ледового плавания. Структура, содержание и ключевые направления совершенствования Ледовых правил.
A12 – Safety Regulation	Разработка документации, регламентирующей безопасность эксплуатации судов в ледовых условиях. Ледовый сертификат. Применение положений Полярного кодекса. Наставление по эксплуатации судна в полярных водах.

- судов, предназначенных для эксплуатации кормой вперед;
- требования Правил РМРС по оборудованию судов на соответствие знаку ANTI-ICE в символе класса;
- требования Правил РМРС по оборудованию судов для обеспечения длительной эксплуатации при низких температурах;
- унифицированные требования МАКО к судам полярных классов;
- требования Финско-Шведских Правил для судов ледового класса;
- Правила плавания в акватории Северного морского пути;
- Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах.

Блок «Graphic» («Графический») включает в себя размещенные в систематизированном виде графические материалы, находящиеся в открытом доступе и дающие наглядное представление об архитектурно-конструктивных особенностях судов ледового плавания, в том числе в части:

- общего расположения;
- формы обводов корпуса;
- конструкции корпуса в районах ледовых усилений;
- компоновки пропульсивного комплекса.

В настоящее время продолжается разработка трех дополнительных информационных блоков. В блоке «Glossary» («Словарь») даны определения наиболее употребительным специальным терминам из рассматриваемой предметной области. В блоке «Assessment» («Оценка») приведены тестовые задания для контроля усвоенных знаний по обучающим курсам, предполагающие как применение формального подхода, так и решение конкретных ситуационных задач. В блоке «Database» («База данных») размещена база данных по наиболее значимым современным судам ледового плавания с указанием общих сведений и основных характеристик, что может быть востребовано как в ознакомительных целях, так и при анализе соответствующей статистической информации.

Кроме того, планируется интегрировать в систему формализованные практико-ориентированные знания и компетенции, полученные ПАО «Выборгский судостроительный завод» в ходе постройки в период 2012–2016 гг. серии дизель-электрических линейных ледоколов мощностью около 16 МВт пр. 21900 М («Владивосток», «Мурманск», «Новороссийск»), инновационных ледокольных судов обеспечения пропульсивной мощностью 21,5 МВт пр. IBSV01 «Александр Санников» и «Андрей Вилькицкий» (период постройки 2015–2018 гг.) и инновационного дизель-электрического портового ледокола пропульсивной мощностью 12 МВт «Обь» (период постройки 2016–2019 гг.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей статье, носящей концептуальный характер, рассмотрены следующие основные аспекты, касающиеся разработки информационной системы поддержки обучения проектированию и конструированию судов ледового плавания:

- отмечена важность развития квалифицированного кадрового обеспечения текущих и перспективных проектов в области арктического судостроения;
- выполнен краткий обзор соответствующих видов и программ обучения, реализуемых в России и за рубежом;

Краткая характеристика тем обучающего курса «Intermediate Course»

Шифр темы	Характеристика темы
B01 – Ice Properties	Физико-механические характеристики льда и их моделирование для решения задач взаимодействия корпуса судна и ледяного покрова.
B02 – Jamming & Nipping	Заклинивание и сжатие судов во льдах.
B03 – Ice Damages	Повреждаемость и аварийность судов в ледовых условиях. Основные типы ледовых повреждений конструкций корпуса судна.
B04 – Ship Icing	Обледенение судов. Применение действующих требований нормативной документации по оборудованию судов для обеспечения эффективной защиты от обледенения ANTI-ICE.
B05 – Winterization Mark	Применение действующих требований нормативной документации по оборудованию судов для обеспечения длительной эксплуатации при низких температурах WINTERIZATION (DAT).
B06 – Structural Material	Особенности и требования к материалу (стали) конструкций корпуса судов, подверженных длительному воздействию низких температур.
B07 – Structural Nodes	Типовые конструктивные узлы корпуса судов ледового плавания. Условия закрепления концов балок основного и рамного набора корпуса в районах ледовых усилений. Положение опорных сечений.
B08 – Plate Structures	Конструкция двойного дна и двойных бортов судов ледового плавания. Листовые конструкции корпуса, прилегающие к наружной обшивке в районах ледовых усилений. Конструкция оконечностей корпуса.
B09 – Carriers Hull	Конструкция корпуса современных крупнотоннажных транспортных судов высоких ледовых классов – арктических танкеров и газозовозов.
B10 – Material Consumption	Масса конструкций ледовых усилений корпуса судов ледового плавания. Анализ проектных решений в обеспечении снижения металлоемкости конструкций.
B11 – Propulsion System	Двигатели судов ледового плавания. Определение нагрузок от воздействия льда на гребной винт судна.
B12 – Ice Performance	Физическая картина движения судна во льдах. Определение силы сопротивления льда при движении судна в сплошных и битых льдах.

Таблица 3

Краткая характеристика тем обучающего курса «Proficient Course»

Шифр темы	Характеристика темы
C01 – Design Background	Методологические основы проектирования конструкций ледовых усилений корпуса судна согласно действующим требованиям Правил РМРС. Расчетные критерии, методы и модели оценки прочности конструкций. Предельная прочность листовых и балочных конструкций.
C02 – As-Built Strength	Строительная прочность конструкций корпуса судна. Оценка параметров строительной прочности на основе требований нормативной документации и численных методов расчета.
C03 – Mechanical Interaction	Физические модели механического взаимодействия корпуса судна и ледяного покрова: динамический и статический сценарии.
C04 – Local Loads	Определение локальных нагрузок от воздействия льда на корпус судна с использованием методов прямого расчета.
C05 – Global Loads	Определение глобальных нагрузок от воздействия льда на корпус судна с использованием методов прямого расчета.
C06 – DCM Application	Применение результатов прямого расчета ледовых нагрузок на корпус судна для решения прикладных задач. Разработка специализированного программного обеспечения.
C07 – Probabilistic Simulation	Обоснование, разработка и реализация метода вероятностного имитационного моделирования для оценки и прогнозирования нагрузок от воздействия льда на корпус судна.
C08 – Ice Strength	Ледовая прочность конструкций корпуса судна. Допустимые и опасные режимы движения судна во льдах. Безопасность эксплуатации судов в ледовых условиях по требованиям к ледовой прочности.
C09 – Strength Trials	Натурные испытания ледовой прочности судов. Воспроизведение параметров ледовой нагрузки на корпус судна.
C10 – Kinematic Parameters	Определение параметров движения судна при ударном (динамическом) взаимодействии с ледяным покровом.
C11 – FSA Concept	Применение концепции формальной оценки безопасности для судов ледового плавания. Вероятностная модель повреждаемости/аварийности судна в ледовых условиях.
C12 – Risk-Based Design	Основные положения риск-ориентированного подхода к проектированию судов ледового плавания.

- дано общее описание оригинальной информационной системы поддержки обучения проектированию и констру-

ированию судов ледового плавания, проанализированы предпосылки и условия ее разработки, представлены

внутренняя структура и предметное содержание.

На основании информации, изложенной в статье, следует заключить, что процесс обучения специалистов по арктическому судостроению целесообразно организовывать на основе сбалансированной комбинации традиционных и инновационных подходов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егизаров Г.Е., Якимов В.В. Обеспечение безопасности эксплуатации судов в ледовых условиях: вызовы и возможности цифровой реальности. – Ч. I // Морской вестник. – 2021. – № 4 (80). – С. 95–100.
2. ФАУ «Российский морской регистр судостроения». – URL: <https://rs-class.org/> (дата обращения: 04.04.2022).
3. Об основах государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 05.03.2020 № 164.
4. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645.
5. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 30.08.2019 № 1930-р.
6. Стратегия развития судостроительной промышленности на период до 2035 года: распоряжение Правительства РФ 28.10.2019 № 2553-р.
7. Цурлик В.Г., Афонин А.Б., Гарибин П.А. Подготовка инженерных кадров для развития водных путей при освоении арктических регионов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2018. – № 4 (50). – С. 752–761.
8. ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева». – URL: <https://www.ntu.ru/> (дата обращения: 04.04.2022).
9. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». – URL: <https://www.smtu.ru/> (дата обращения: 04.04.2022).
10. Nordic Master in Cold Climate Engineering. – URL: <https://www.coldclimate-master.org/> (дата обращения: 04.04.2022).
11. China Ship Scientific Research Center. – URL: <http://www.cssrc.com/> (дата обращения: 04.04.2022).
12. Aker Arctic Technology Inc. – URL: <https://akerarctic.fi/> (дата обращения: 04.04.2022).
13. ГОСТ Р 55751–2013. Информационно-коммуникационные технологии в образовании. Электронные учебно-методические комплексы. Требования и характеристики. – Введ. 01.01.2015. – М.: Стандартинформ, 2018. – 11 с.
14. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018617333 Российская Федерация. Электронный комплект по проектированию и конструкции судов ледового плавания и ледоколов/В.В. Якимов; заявитель и правообладатель В.В. Якимов. – № 2018614854; заявл. 03.05.2018; опубл. 21.06.2018. – 1 с. ■

В современных условиях бурного развития и повсеместного использования новейших информационных технологий, сетей связи и информационных систем (ИС), общего и специального программного обеспечения (ПО), ноу-хау в организациях и на предприятиях, а также появления новых технологий и тактик ведения киберразведки, в организациях и на предприятиях все более остро встает задача обеспечения информационной безопасности (ИБ), защиты информации (ЗИ) и самих ИС от обычных кибернарушителей, представителей промышленного кибершпионажа крупных иностранных корпораций и холдингов, а также органов киберразведки (КР) специальных служб иностранных государств.

Объектами киберразведки с одной стороны и защиты с другой являются: защищаемая конфиденциальная информация (КИ), телекоммуникационное оборудование, корпоративные информационные системы как основные источники КИ, обрабатываемой и циркулирующей в них.

Киберразведка (кибер- или компьютерный шпионаж) – это несанкционированное получение доступа к защищенной КИ или корпоративной ИС с различными дальнейшими целями: кража, модификация, получение удаленного управления, уничтожение КИ или ИС и ее элементов. Это происходит за счет взлома комплексных систем ИБ организации. Для этого применяется специальное шпионское вредоносное ПО. Взлом и последующие несанкционированный доступ (НСД), несанкционированное воздействие (НСВ) на защищаемые КИ и ИС может осуществляться либо извне, из интернета, либо изнутри, из ИС [1]. Основные этапы процесса киберразведки ИС организации представлены на рис. 1.



Рис. 1. Основные этапы процесса КР ИС организации

Способы осуществления киберразведки постоянно развиваются с появлением нового специального ПО, увеличением квалификации кибернарушителей. К основным способам КР стоит отнести: – вредоносное и шпионское ПО. По-

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НЕСАНКЦИОНИРОВАННОГО ПОЛУЧЕНИЯ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ КИБЕРАЗВЕДКОЙ ИЗ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗАЦИЙ И ПРЕДПРИЯТИЙ

В.Г. Ерышов, канд. техн. наук, доцент кафедры Безопасности информационных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения,

Р.Д. Куликов, специалист по интернет-проектам АО «Армалит», контакт. тел. +7 (911) 003 5149, +7 (999) 234 9660

тенциально угрожают всем, кто пользуется интернетом, включая рядовых владельцев страниц в соцсетях;

- программы-импланты (недекларированные возможности). Имеющийся в программах код, позволяющий получать доступ к ИС организации;
- целевые компьютерные атаки (АРТ). Целенаправленная совокупность киберпреступных действий, проводимых против конкретной организации или предприятия. Данные атаки отличаются высокой степенью эффективности [1].

В связи с этим для служб информационной безопасности (СИБ) организаций все более актуальной становится задача обеспечения защиты ИС от КР, защиты КИ и ИС организаций от НСД и НСВ на них.

С целью выполнения требований по кибербезопасности ИС организаций, а также для построения адекватной существующим угрозам ИБ комплексной системы ЗИ (СЗИ) организации одной из важнейших задач является задача исследования процесса получения КР КИ из ИС организации.

В этом случае необходимо провести теоретические и практические исследования по оценке возможностей КР, ее сценариев и тактик по несанкционированному получению КИ. Наиболее эффективным методом при таких исследованиях выступает моделирование,

заключающееся в построении математической модели и изучении исследуемых объектов и их процессов.

В связи с этим возникает необходимость разработки математической модели процесса несанкционированного получения КИ КР из ИС организаций, для выявления вероятностно-временных зависимостей его событий и состояний.

Под математической моделью в статье будем понимать формализованное, математическое описание процесса несанкционированного получения КИ КР из ИС организации и вероятностно-временных зависимостей его подпроцессов. Для разработки такой модели могут быть использован математический аппарат теории Марковских случайных процессов [2].

Марковский процесс – это такой случайный процесс, происходящий в исследуемой системе, если для любого момента времени его вероятностные характеристики процесса в будущем зависят только от его состояния в данный момент и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние [2].

Процесс осуществления КР ИС организации можно представить ориентированным графом состояний и описать в терминах теории Марковских случайных процессов с дискретными состояниями и непрерывным временем (рис. 2).

Под Марковским случайным процессом будем понимать процесс, у которого в любой момент времени t множес-

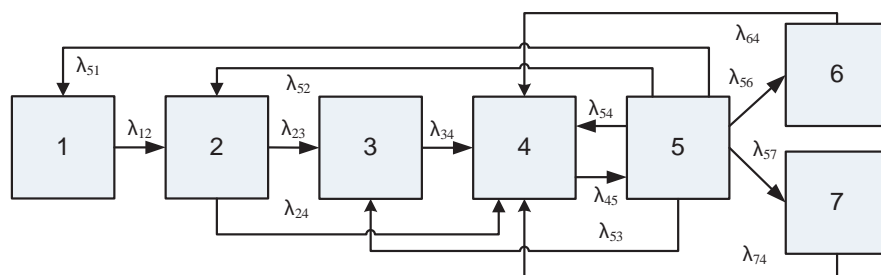


Рис. 2. Ориентированный граф состояний процесса КР ИС организации

тво его состояний S – счетно и конечно, а переходы из одного состояния в другое происходят в любой момент времени t исследуемого периода.

В разрабатываемой математической модели при описании исследуемого процесса КР предполагается, что все его переходы из состояния в состояние происходят под воздействием пуассоновских потоков событий.

Исходными данными для построения таких моделей являются потоки событий, полученные на основе экспертных оценок в области кибербезопасности, различных международных экспертных организаций и т.д. Для получения вероятностных и временных характеристик процесса ведения КР ИС, для построенного ориентированного графа состояний (см. рис. 2) в модели была составлена и решена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова [3].

Переходы из состояния в состояние в исследуемом процессе происходят под воздействием кусочно-стационарных пуассоновских потоков событий [2]. Описание данных состояний представлено в таблице.

Таблица состояний исследуемого процесса осуществления КР, описывает его основные укрупненные этапы. Каждая операция в математической модели характеризует материальное действие, требующее использования ресурсов системы КР, или логическое, требующее лишь взаимосвязи событий.

Для построенного ориентированного графа исследуемого процесса, представленного на рис. 2, была составлена система обыкновенных дифференциальных уравнений Колмогорова [3].

С целью решения данной системы дифференциальных уравнений было использовано математическое ПО для инженерных расчетов «Mathcad». Алгоритмы решения дифференциальных уравнений, встроенные в данное ПО, позволили получить расчетные значения вероятностей нахождения собы-

тий исследуемого процесса ведения КР в зависимости от модельного времени (времени функционирования системы) - вероятностно-временные зависимости.

Результатами моделирования исследуемого процесса ведения КР явились его вероятностно-временные зависимости, представленные на рис. 2:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= p_5(t)\lambda_{51}(t) - p_1(t)\lambda_{12}(t); \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= p_1(t)\lambda_{12}(t) + p_5(t)\lambda_{52}(t) - \\ &\quad - p_2(t)\{\lambda_{23}(t) + \lambda_{24}(t)\}; \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= p_2(t)\lambda_{23}(t) + p_5(t)\lambda_{53}(t) - \\ &\quad - p_3(t)\lambda_{34}(t); \\ \frac{dp_4(t)}{dt} &= p_2(t)\lambda_{24}(t) + p_3(t)\lambda_{34}(t) + \\ &\quad + p_5(t)\lambda_{54}(t) + p_6(t)\lambda_{64}(t) + \\ &\quad + p_7(t)\lambda_{74}(t) - p_4(t)\lambda_{45}(t); \\ \frac{dp_5(t)}{dt} &= p_4(t)\lambda_{45}(t) - p_5(t)\{\lambda_{51}(t) + \\ &\quad + \lambda_{52}(t) + \lambda_{53}(t) + \lambda_{54}(t) + \lambda_{56}(t) + \lambda_{57}(t)\}; \\ \frac{dp_6(t)}{dt} &= p_5(t)\lambda_{56}(t) - p_6(t)\lambda_{64}(t); \\ \frac{dp_7(t)}{dt} &= p_5(t)\lambda_{57}(t) - p_7(t)\lambda_{74}(t). \end{aligned}$$

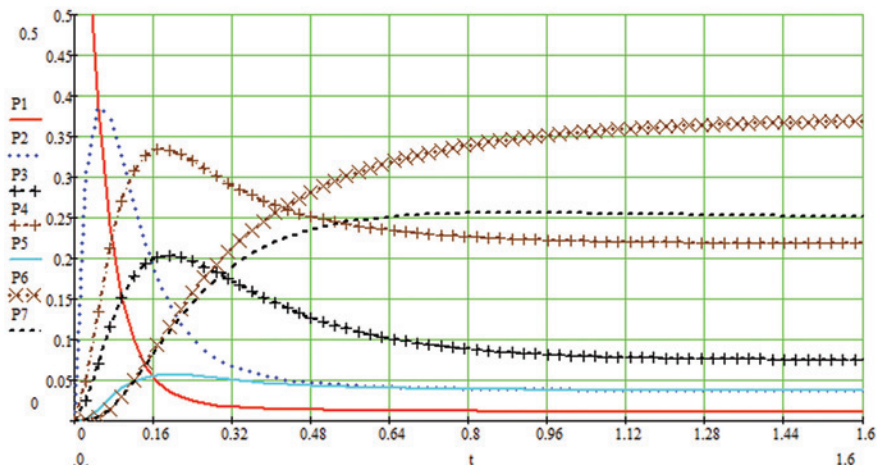


Рис. 2. Вероятностно-временные зависимости процесса ведения киберразведки

Описание состояний процесса КР ИС организаций

№ п/п	Наименование состояния	№ вх. сост.	№ вых. сост.
S_1	Осуществление несанкционированного доступа киберразведкой к защищаемым ресурсам корпоративной ИС организации	λ_{61}	λ_{12}
S_2	Осуществление перехвата киберразведкой КИ из корпоративной ИС организации	λ_{12}	λ_{23}
S_3	Всесторонний сбор КИ, циркулирующей в корпоративной ИС организации	$\lambda_{23}, \lambda_{43}$	λ_{34}
S_4	Тщательный анализ полученной киберразведкой КИ из корпоративной ИС организации	$\lambda_{34}, \lambda_{54}, \lambda_{64}$	$\lambda_{41}, \lambda_{43}, \lambda_{45}, \lambda_{46}$
S_5	Выбор органами управления киберразведкой типа воздействия на корпоративную ИС (КИ) организации	λ_{45}	λ_{54}
S_6	Использование специального программного обеспечения для осуществления несанкционированного воздействия на корпоративную ИС, ее элементы и циркулирующей в ней КИ	λ_{46}	λ_{64}
S_7	Осуществление скрытого информационного воздействия на корпоративную ИС, ее элементы и циркулирующей в ней КИ	λ_{57}	λ_{74}

Таблица

ЛИТЕРАТУРА

1. Кибершпионаж. – URL: <https://www.anti-malware.ru/threats/cyber-espionage>.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. – 384 с.
3. Ерышов В.Г. Модель процесса добывания конфиденциальной информации компьютерной разведкой из информационных систем организаций. – Сборник избранных статей по материалам научных конференций «Международная научная конференция «Безопасность: Информация, Техника, Управление». – СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», декабрь 2021. ■

В 2021 г. в АО «Адмиралтейские верфи» был создан программный комплекс с применением технологии искусственных нейронных сетей (ИНС). Благодаря этой разработке инженерам больше не нужно вручную классифицировать узловые сборки определенного типа, что сокращает время выпуска конструкторской документации. Что такое узловая сборка? Это изделие, составные части (детали) которого подверглись соединению между собой сборочными операциями (рис. 1).



Рис. 1. Пример схемы сборки изделия

На каждое изготавливаемое изделие выпускается сборочный чертеж, чтобы специалист цеха знал, какие детали в какой последовательности собирать (рис. 2).

Среди выпускаемых предприятием сборочных чертежей есть много однотипных. В связи с этим проводят классификацию и формируют один чертеж на несколько подобных сборочных узлов, что сокращает количество выпускаемой документации. Основой для разработки программы послужила необходимость классифицировать силами Инженерного центра 3500 типовых узлов, состоящих из кницы и приварного фланца (рис. 3).

Результатом работы комплекса является определение вероятности принадлежности каждого узла к тем или иным типам сборок. Отображаются три наиболее вероятных типа – сборка «2103-KN514_5S» на 97,3% подходит к типу 5 (рис. 4).

Принцип работы комплекса заключается в следующем:

- в извлечении запрашиваемых конструктором данных из 3D модели;
- в подготовке полученных данных для передачи в нейронную сеть;
- в обработке данных сетью;
- в выводе решений сети на утверждение конструктора.

Что же такое «нейронная сеть»? Это математическая модель, имитирующая работу клеток мозга живого организма. С рассматриваемой точки зрения нейронная сеть примечательна возможностью выявлять и запоминать сложные закономерности между входными и выходными данными. В отличие от традиционных алгоритмов сеть не программируется, а обучается, т. е. многократно пропускает

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ УЗЛОВЫХ СБОРОК С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

К.Г. Шмагин, инженер-программист АО «Адмиралтейские верфи», контакт. тел. (812) 714 6114

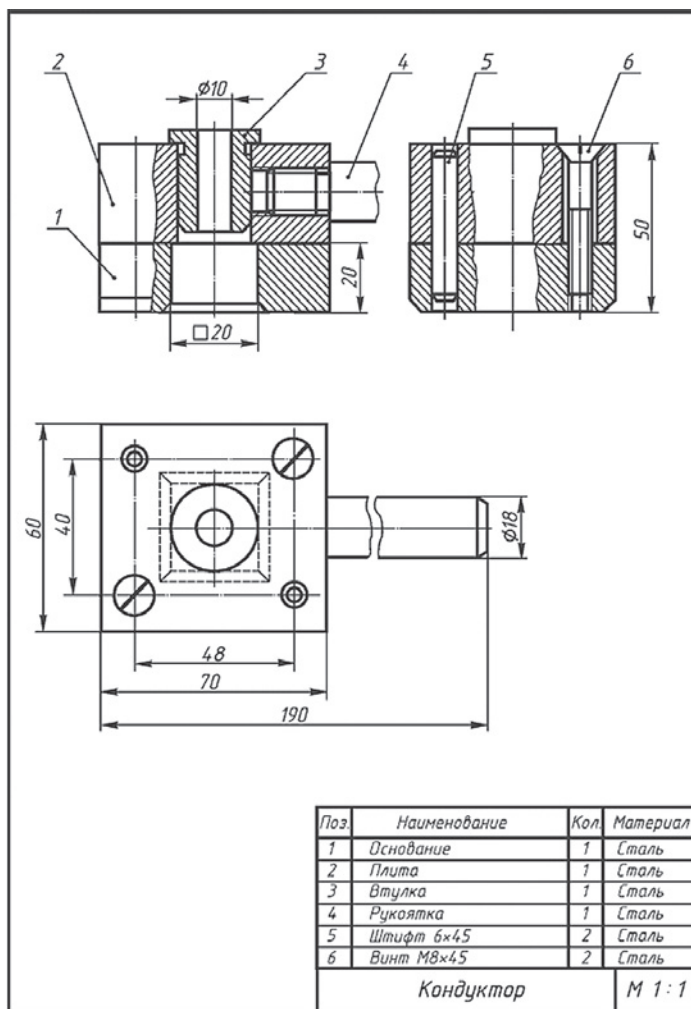


Рис. 2. Пример сборочного чертежа

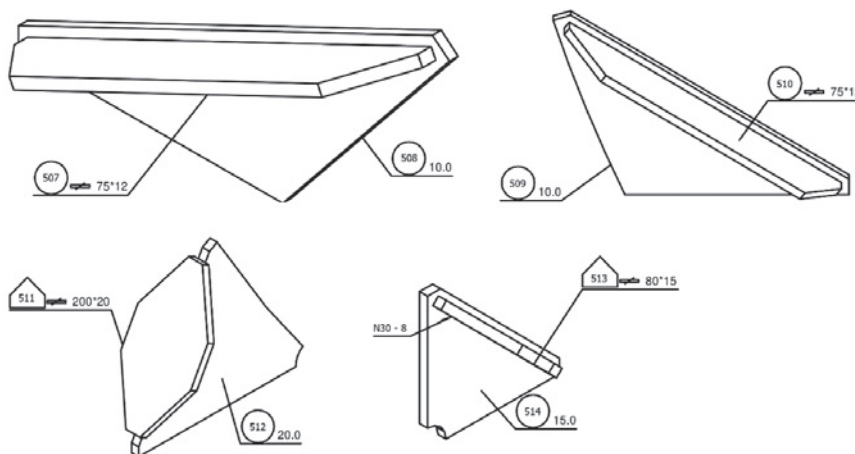


Рис. 3. Примеры узлов сборок книц с приварными фланцами

через себя входные данные, генерирует результат и сверяет его с правильным ответом, корректируя свои нейроны так, чтобы результат совпа-

дал с правильным ответом. В конце обучения сеть приобретает способность решать задачи, схожие с теми, на которых ее обучали.

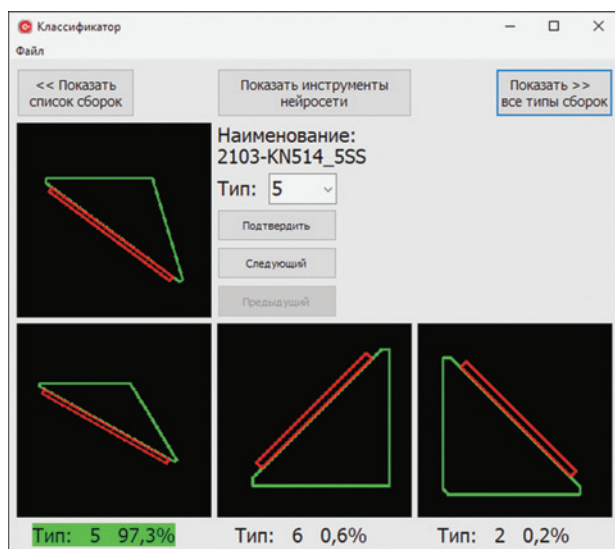


Рис. 4. Пример вывода работы программы и меню настройки

Нейронная сеть состоит из нейронных слоев: входного, выходного и промежуточных, или «скрытых» (рис. 5).

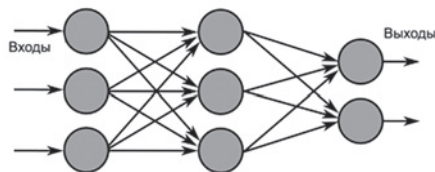


Рис. 5. Пример простой нейронной сети

Каждый слой может содержать разное количество нейронов и отличаться условиями их активации. В сложных («глубоких») нейронных сетях скрытых слоев несколько, они могут объединяться между собой, с другими нейронами или даже с другими нейронными сетями. Также может быть несколько входных и выходных слоев, о чем будет сказано далее.

В задачу разработчика таких сетей входит:

- формирование обучающих данных («выборки»);
- преобразование данных к виду цифровых сигналов, пригодных для подачи на входные слои сети;
- подбор оптимальной структуры сети для решаемой задачи (определение количества слоев, нейронов в них и связей между слоями);
- регулировка процесса обучения.

Обучение нейронной сети может проводиться разными методами, самые распространенные из них – «обучение с учителем», когда есть выборка задач с правильными ответами, и «обучение с подкреплением», когда для каждого действия сети рассчитывается оценка. Также есть возможность исключить из процесса обучения как отдельные

слои, так и целые сегменты сети.

В процессе обучения участвует ряд параметров, таких как:

- количество задач для одного этапа обучения;
- количество этапов;
- метод оценки ответов сети;
- функция-оптимизатор, отвечающая за изменение значений нейронов и т.д.

Для решения задачи классификации была разработана сеть, состоящая из нескольких сетей («ансамблированная сеть»). Первая основана на «компьютерном зрении» – она обучена распознавать тип сборки по изображению геометрии кницы с приварным фланцем. Вторая выполняет классификацию, основываясь на параметрах сборки. Эффективность этих сетей варьируется на разных типах сборок, поэтому была создана третья сеть, обученная учитывать погрешности первых двух. Такой подход повышает точ-

ность итоговой сети, однако растет время обработки. Каждая сеть обучалась по отдельности (рис. 6).

Разработанный программный комплекс состоит из трех самостоятельных модулей:

- модуль выгрузки данных;
- нейронная сеть;
- интерфейс вывода результатов работы ИНС.

При необходимости каждый из модулей может быть адаптирован под новые условия или задачи, к примеру, при переходе на новую систему автоматизированного проектирования необходимо изменить только модуль выгрузки данных; при необходимости расширения функционала конечной обработки результатов нужно внести корректировки лишь в интерфейс вывода; в случае расширения выборки узловых сборок достаточно дообучить ИНС.

Программный комплекс снижает время формирования альбома узловых сборок на новых проектах и имеет перспективные пути расширения функционала в области автоматизации оформления чертежей, помощи при проектировании и решениях иных задач, нерешаемых с помощью стандартных алгоритмов. Тем самым можно утверждать, что внедрение вышеописанного программного комплекса необходимо для снижения трудозатрат и повышения качества выпускаемой продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. – СПб.: Питер, 2018.
2. Саттон Р. С., Барто Э. Г. Обучение с подкреплением. – М.: Бином, 2014.
3. Созыкин А. Программирование нейросетей на Python. – Электронный ресурс [www.asozykin.ru/courses/nnpython]. ■

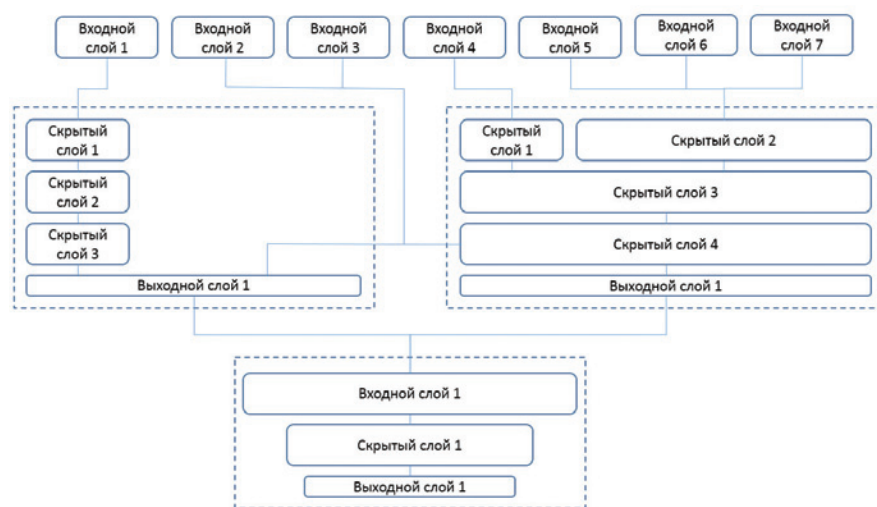


Рис. 6. Обобщенная схема искусственной нейронной сети (ИНС)

Оперативный контроль сопротивления изоляции кабельных трасс, наряду с основными функциями систем компенсации магнитных полей корабельных корпусных конструкций, – одна из важнейших эксплуатационных задач. Вовремя не обнаруженный участок с низким сопротивлением изоляции может не только служить источником опасности поражения личного состава электрическим током, но и привести к возгоранию кабельной трассы. Насколько опасно возгорание изоляции токоведущих кабелей в замкнутом пространстве и к каким катастрофическим последствиям оно приводит, подробно говорить нет смысла – примеров из жизни имеется достаточно много. Именно поэтому системы контроля сопротивления изоляции непрерывно совершенствуются, сокращается время обнаружения дефекта, расширяются возможности определения места повреждения изоляции.

КРАТКИЙ ОБЗОР КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Широкое распространение в составе аппаратуры различного назначения, поступающей на корабли военно-морского флота, получили щитовые мегаомметры типа М1628 (рис. 1). Данный вид мегаомметра работает в ручном режиме, т. е. для проведения измерения специалисту нужно выполнить ряд операций, чтобы получить текущее значение сопротивления изоляции. Мегаомметры типа М1628 позволяют получить результат в диапазоне 0,2...5 МОм. В состав поставки мегаомметра, кроме стрелочного показывающего прибора, входят добавочное устройство Р1628 и переключатель типа П1628. Очевидно, что применение данного типа мегаомметра не обеспечивает автоматический контроль сопротивления изоляции, по этой причине решение о периодичности контроля и принятие решения о проведении регламентных или ремонтных работ лежит исключительно на личном составе.

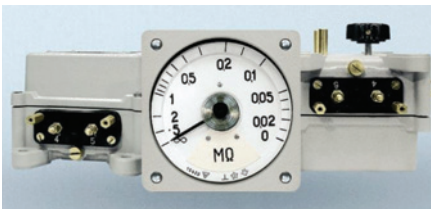


Рис. 1. Внешний вид мегаомметра типа М1628

Цифровой щитовой мегаомметр типа ЦМ1628.1 (рис. 2) имеет функции периодического автоматического измерения сопротивления изоляции и выдачи предупредительного сигнала при его снижении ниже установленной устав-

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ В КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.Н. Грачёв, гл. инженер,
Б.Ю. Семёнов, гл. конструктор СКЭМП,
В.В. Фогель, инженер 2-й категории, АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0368

ки. Измерение сопротивления изоляции под рабочим напряжением осуществляется в диапазоне 0...200 кОм. Для функционирования прибора индикации и управления типа ЦМ1628.1-У и выдачи информационных пакетов по каналу RS-485 ЦМ1628.1 необходимо наличие отдельного добавочного устройства типа ЦМ1628.1-П.



Рис. 2. Внешний вид цифрового мегаомметра типа ЦМ1628.1

Наконец, третий, наиболее развитый вариант – многоканальный цифровой мегаомметр типа ИСИМ1623 (рис. 3). Он позволяет контролировать сопротивление изоляции в каналах количеством от 10 до 60, а также обмениваться информацией с внешними системами по каналу RS-485 MODBUS RTU. Для функционирования прибора ИСИМ1623 необходимо наличие минимум трех составных частей: блока пре-

образования БП1623, блока коммутации БК1623 (на 10 или 15 каналов), блока индикации БИ1623.

МОДУЛЬ КОНТРОЛЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ МКСИ

Специалистами АО «НПФ «Меридиан» разработан собственный модуль контроля сопротивления изоляции (МКСИ), который обеспечивает не только непрерывный автоматизированный контроль сопротивления изоляции в диапазоне 0,1...5,0 МОм с точностью не хуже 15%, но и определяет место снижения сопротивления изоляции с точностью не хуже 4% от полной длины контролируемого участка (обмотки ДУ). Модуль МКСИ может поставляться в исполнениях для контроля числа независимых каналов от 1 до 6, а также осуществлять контроль токоведущих проводников с постоянным током и током, направление которого меняется с частотой до 0,5 Гц.

На рис. 4, а приведен внешний вид модуля МКСИ-1, обеспечивающего контроль сопротивления изоляции и поиск места повреждения изоляции в одноканальном исполнении. Подключение модуля МКСИ-1 к контролируемой цепи осуществляется тремя проводниками – два проводника подключаются к полюсам контролируемого участка, а третий проводник – к корпусу корабля.

Штатное функционирование модуля МКСИ-1 начинается через 1 минуту после подачи на него напряжения питания 27В постоянного тока. Данные о сопротивлении изоляции и месте пов-



Рис. 3. Внешний вид многоканального цифрового мегаомметра типа ИСИМ1623

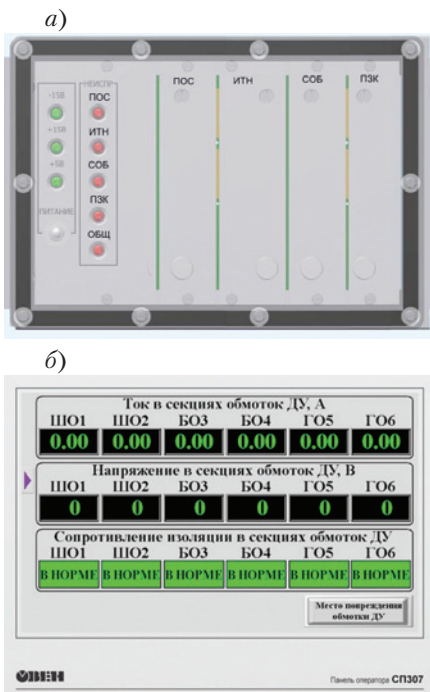


Рис. 4. Внешний вид модуля контроля сопротивления изоляции МКСИ-1 (а) и пример вывода информации о состоянии изоляции обмоток ДУ (б)

реждения изоляции модуль МКСИ-1 транслирует в сопрягаемую аппаратуру по протоколу RS-485 MODBUS RTU. Кроме этого, транслируется информация о техническом состоянии модуля МКСИ-1 с точностью обнаружения отката до сменной составной единицы.

Пример вывода информации от устройства МКСИ в шестиканальном исполнении на графическую панель сопряженного оборудования о состоянии изоляции обмоток ДУ показан на рис. 4, б.

В модуле МКСИ-1 использованы специальные методики коррекции, позволяющие получить правильный результат измерения при наличии в контролируемом проводнике тока, направление которого меняется с частотой до 0,5 Гц, методики коррекции влияния емкостной составляющей «кабель-корпус», а также специальные алгоритмы цифровой фильтрации, исключаяющие ошибку результата по причине воздействия на измерительный тракт модуля МКСИ-1 наводок электромагнитного поля от другого оборудования с частотой, равной частоте силовой сети 50 Гц.

В качестве примера методики измерения сопротивления изоляции и поиска места ее повреждения рассмотрим методику контроля токоведущих участков с постоянным током прямого или обратного направления.

Схема измерения сопротивления изоляции приведена на рис. 5. При измерении сопротивления изоляции и нахождении места повреждения используются два состояния схемы:

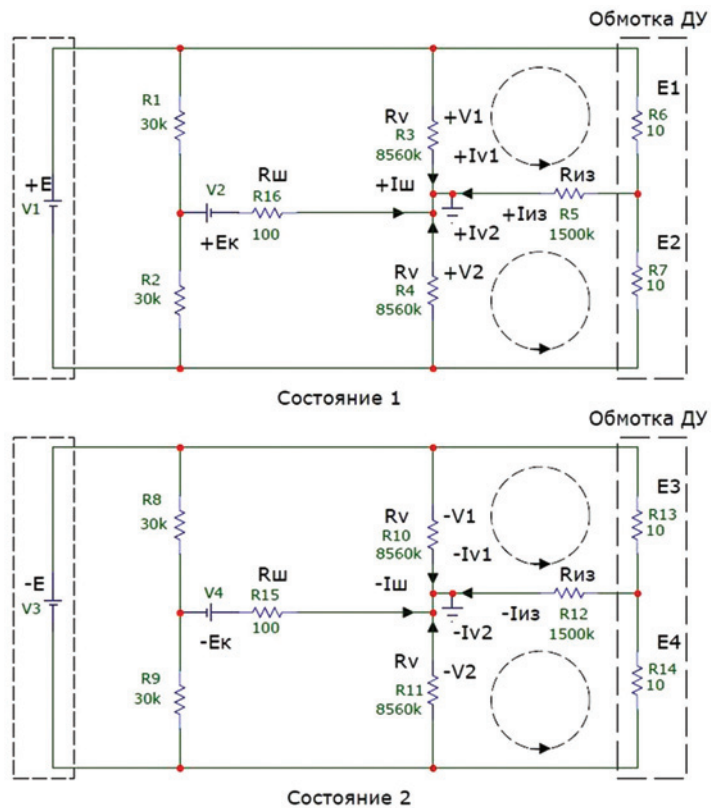


Рис. 5. Методика измерения сопротивления изоляции

а) «состояние 1» – с положительным включением контрольного источника $+E_k$;

б) «состояние 2» – с отрицательным включением контрольного источника $-E_k$.

Учитывая, что в соответствии с алгоритмом работы, замеры при установке условия «состояние 1» и условия «состояние 2» отстоят друг от друга на 2 с, источник питания обмотки системы компенсации магнитного поля (обмотки ДУ) обозначен как:

а) $+E$ – для условия «состояние 1»;

б) $-E$ – для условия «состояние 2».

Обмотка ДУ, условно показанная на рис. 5 как последовательное соединение активных сопротивлений, в силу их пренебрежимо малого сопротивления по отношению к величине сопротивления изоляции, обозначена как последовательное соединение источников ЭДС:

а) E_1, E_2 – для условия «состояние 1»;

б) E_3, E_4 – для условия «состояние 2».

Измеряемое сопротивление изоляции обозначено как $R_{из}$, при этом ток $+I_{ш}$ относится к условию «состояние 1», а ток $-I_{из}$ – к условию «состояние 2».

Ток контрольного источника E_k для условия «состояние 1» $+I_{ш}$, а для условия «состояние 2» $-I_{ш}$ измеряется шунтом $R_{ш}$ и обрабатывается микроконтроллером.

Напряжения на полюсах источника тока относительно корпуса измеряются вольтметрами с внутренним сопротивлением $R_v = 8560$ кОм:

а) для условия «состояние 1» $+V_1; +V_2$;

б) для условия «состояние 2» $-V_1$; $-V_2$.

Токи резисторов R_v обозначены как: а) для условия «состояние 1» $+I_{v1}; +I_{v2}$;

б) для условия «состояние 2» $-I_{v1}; -I_{v2}$.

Контрольный источник E_k подключен к полюсам источника тока через резисторный делитель (R_1, R_2), (R_8, R_9), при этом $R_1 = R_8 = R_2 = R_9$.

Аппаратные средства позволяют получить следующие параметры расчетной схемы:

а) токи контрольного источника: $+I_{ш}$; $-I_{ш}$;

б) токи нагрузок полюсов источника тока: $+I_{v1}; +I_{v2}; -I_{v1}; -I_{v2}$;

в) напряжения на полюсах источника тока: $+V_1; +V_2; -V_1; -V_2$.

Запишем для условия «состояние 1» схемы законы Кирхгофа в соответствии с направлением обхода контуров, обозначенных на рисунке:

$$I_{ш}^+ = -(I_{v1}^+ + I_{v2}^+ + I_{из}^+); \quad (1)$$

$$E_1 = V_1^+ - I_{из}^+ R_{из}; \quad (2)$$

$$E_2 = I_{из}^+ R_{из} - V_2^+. \quad (3)$$

Запишем для «состояние 2» схемы законы Кирхгофа в соответствии с направлением обхода контуров, обозначенных на рисунке:

$$I_{ш}^- = -(I_{v1}^- + I_{v2}^- + I_{из}^-); \quad (4)$$

$$E_3 = V_1^- - I_{из}^- R_{из}; \quad (5)$$

$$E_4 = I_{из}^- R_{из} - V_2^-. \quad (6)$$

Учтем, что при известном сопротивлении вольтметров R_v

$$I_{v1}^+ = \frac{V_1^+}{R_v}; \quad (7.1)$$

$$I_{v2}^+ = \frac{V_2^+}{R_v}; \quad (7.2)$$

$$I_{V1}^- = \frac{V_1^-}{R_V}; \quad (8.1)$$

$$I_{V2}^- = \frac{V_2^-}{R_V}. \quad (8.2)$$

Преобразуем (1) и (2) с учетом (7.1), (7.2), (8.1), (8.2):

$$I_{из}^+ = - \left[I_{ш}^+ + \frac{V_1^+}{R_V} + \frac{V_2^+}{R_V} \right]; \quad (9)$$

$$I_{из}^- = - \left[I_{ш}^- + \frac{V_1^-}{R_V} + \frac{V_2^-}{R_V} \right]. \quad (10)$$

Но поскольку очевидно, что если место нарушения изоляции (точка соединения E_1-E_2 и E_3-E_4) не меняется при установке условий «состояние 1» и «состояние 2», то можно сделать вывод:

$$\frac{E_1}{E_3} = \frac{E_2}{E_4} = \frac{E_1 + E_2}{E_3 + E_4}. \quad (11)$$

Запишем выражение (11) с учетом выражений (2), (3), (5), (6):

$$\frac{V_1^+ - I_{из}^+ R_{из}}{V_1^- - I_{из}^- R_{из}} = \frac{V_1^+ - V_2^+}{V_1^- - V_2^-}; \quad (12.1)$$

$$\frac{I_{из}^+ R_{из} - V_2^+}{I_{из}^- R_{из} - V_2^-} = \frac{V_1^+ - V_2^+}{V_1^- - V_2^-}. \quad (12.2)$$

Обозначим правую часть выражений (12.1) и (12.2) как a и после преобразований (12.1) и (12.2) получаем формулу для расчета сопротивления изоляции $R_{из}$ в общем случае:

$$R_{из} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(V_1^+ + V_2^+) - a(V_1^- + V_2^-)}{I_{из}^+ - aI_{из}^-}. \quad (13)$$

В случае, если $a \rightarrow 0$, или $|V_1^+ - V_2^+| \ll |V_1^- - V_2^-|$, формула (13) приобретает вид

$$R_{из} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(V_1^+ + V_2^+)}{I_{из}^+}. \quad (14)$$

В случае, если $a \rightarrow \infty$, или $|V_1^+ - V_2^+| \gg |V_1^- - V_2^-|$, формула (13) приобретает вид

$$R_{из} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(V_1^- + V_2^-)}{I_{из}^-}. \quad (15)$$

В случае, если $|V_1^+ - V_2^+| \rightarrow 0$ и $|V_1^- - V_2^-| \rightarrow 0$, появляется неопределенность, поэтому запишем выражения (2), (3), (5), (6) в следующем виде:

$$V_1^+ - I_{из}^+ R_{из} = 0; \quad (16)$$

$$I_{из}^+ R_{из} - V_2^+ = 0; \quad (17)$$

$$V_1^- - I_{из}^- R_{из} = 0; \quad (18)$$

$$I_{из}^- R_{из} - V_2^- = 0. \quad (19)$$

С учетом этого формула для расчета сопротивления изоляции будет иметь вид

$$R_{из} = \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{(V_1^+ + V_2^+)}{I_{из}^+} + \frac{(V_1^- + V_2^-)}{I_{из}^-} \right]. \quad (20)$$

В случае, если $V_1^+ - V_2^+ = -(V_1^- - V_2^-)$, в общей формуле (13) появляется неопределенность в виде деления 0/0, поэтому обозначим

$$b = \frac{E_2}{E_1} = \frac{E_4}{E_3}, \quad (21)$$

тогда выражения (2), (3), (5), (6) с учетом (21) можно записать в следующем виде:

$$R_{из} = \frac{b \cdot V_1^+ + V_2^+}{I_{из}^+ (b+1)}. \quad (22)$$

Преобразуем формулу (22) к виду

$$R_{из} = \frac{b}{b+1} \left[\frac{V_1^+}{I_{из}^+} \right] + \frac{1}{b+1} \left[\frac{V_2^+}{I_{из}^+} \right]. \quad (23)$$

Выражения, стоящие в квадратных скобках в формуле (23), представляют собой возможные граничные значения сопротивления изоляции, т. е. если сопротивление изоляции $R_{из}$ подключено к верхнему (по схеме) полюсу источника $+E$ ($-E$), либо к нижнему полюсу того же источника.

Таким образом, может быть реализован следующий алгоритм расчета сопротивления изоляции:

а) установка положительной полярности источника $+E_K$, выдержка времени для стабилизации переходных процессов заряда емкости между кабелем обмотки ДУ и корпусом;

б) синхронный замер значений $+I_{ш}^+, +V_1^+, +V_2^+$;

в) по истечении 2 с от момента начала выполнения пункт «а» установка отрицательной полярности источника $-E_K$, выдержка времени для стабилизации переходных процессов заряда емкости между кабелем обмотки ДУ и корпусом;

г) синхронный замер значений $-I_{ш}^-, -V_1^-, -V_2^-$;

д) расчет токов $+I_{из}^-, -I_{из}^-$ по формулам (9), (10);

е) расчет сопротивления изоляции по формуле (13).

После расчета сопротивления изоляции возможно по полученным данным также рассчитать точку повреждения изоляции. Введем параметр относительного потенциала точки повреждения, который для положения «состояние 1»:

$$\delta = \frac{E_1}{E_1 + E_2}, \quad (24)$$

в то же время для положения «состояние 2» данный параметр может быть определен как:

$$\delta = \frac{E_3}{E_3 + E_4}. \quad (25)$$

Параметр δ показывает, насколько точка повреждения отстоит от верхнего (по рис. 5) полюса источника E_1 .

Также можно ввести параметр относительного потенциала точки повреждения в привязке к нижнему (по рис. 5) полюсу источника E_2 , который для положения «состояние 1» будет:

$$\beta = \frac{E_2}{E_1 + E_2}. \quad (26)$$

В то же время для положения «состояние 2» данный параметр может быть определен как

$$\beta = \frac{E_4}{E_3 + E_4}. \quad (27)$$

Запишем выражения (24), (25), (26), (27) с учетом выражений (2), (3), (5), (6):

$$\delta = \frac{V_1^+ + I_{из}^+ R_{из}}{V_2^- + V_1^+}; \quad (28)$$

$$\delta = \frac{V_1^- + I_{из}^- R_{из}}{V_1^- + V_2^-}; \quad (29)$$

$$\beta = \frac{V_2^- - I_{из}^- R_{из}}{V_2^- + V_1^+}; \quad (30)$$

$$\beta = \frac{V_2^- - I_{из}^- R_{из}}{V_1^- + V_2^-}. \quad (31)$$

Очевидно из (24) и (25), а также из (26) и (27), что

$$\delta = 0,5 \left[\frac{E_1}{E_1 + E_2} + \frac{E_3}{E_3 + E_4} \right] \cdot 100\%; \quad (32)$$

$$\beta = 0,5 \left[\frac{E_2}{E_1 + E_2} + \frac{E_4}{E_3 + E_4} \right] \cdot 100\%. \quad (33)$$

Запишем выражения (32) и (33) с учетом выражений (28), (29), (30), (31) и получим расчетную формулу для определения места повреждения изоляции в процентах, в привязке к верхнему полюсу источника E_1 (34) и к нижнему полюсу источника E_2 (35):

$$\delta = 0,5 \left[\frac{V_1^+ + I_{из}^+ R_{из} + V_1^- + I_{из}^- R_{из}}{V_2^- + V_1^+ + V_1^- + V_2^-} \right] \cdot 100\%; \quad (34)$$

$$\beta = 0,5 \left[\frac{V_2^- - I_{из}^- R_{из} + V_2^+ - I_{из}^+ R_{из}}{V_2^- + V_1^+ + V_1^- + V_2^-} \right] \cdot 100\%. \quad (35)$$

Приведенная выше методика не требует существенных вычислительных ресурсов для ее аппаратной реализации. Обеспечение надежного функционирования модуля контроля сопротивления изоляции оказалось возможным с применением микроконтроллера широкого применения с 12-разрядной арифметикой.

По желанию заказчика модули типа МКСИ могут быть укомплектованы устройствами отображения информации и архивной регистрации событий, а также специальным программным обеспечением, позволяющим оценивать динамику процесса снижения сопротивления изоляции и предупреждать личный состав о необходимости выполнить упреждающие технические мероприятия, направленные на поддержание кабельных трасс в исправном состоянии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Специалистами АО «НПФ «Меридиан» разработаны перспективные алгоритмы и схемотехнические решения автоматических устройств контроля сопротивления изоляции типа МКСИ, осуществляющие непрерывный мониторинг состояния кабельных трасс в корабельных системах компенсации магнитных полей, а также, при необходимости, локализирующие участок повреждения изоляции. Разработанный типовой ряд модулей МКСИ по желанию заказчика может быть поставлен в исполнении для встраивания в собственную аппаратуру либо для внешней установки в виде отдельных приборов. Информация о состоянии изоляции может транслироваться в централизованную корабельную систему мониторинга по цифровому каналу связи типа RS-485. Отображение информации для личного состава осуществляется посредством вывода на графическую панель, отвечающую передовым современным требованиям. ■

ВВЕДЕНИЕ

С увеличением размера, скорости и мощности двигателя судна возрастает вибрация его конструкции. Это становится большой проблемой, требующей своего решения при проектировании и строительстве судов. С целью удобства пассажиров и трудоспособности экипажа следует избегать чрезмерной вибрации судна. Кроме нежелательного воздействия на человека, чрезмерная вибрация судна может привести к усталостному разрушению местных элементов конструкции или неисправности механизмов и оборудования. [11]

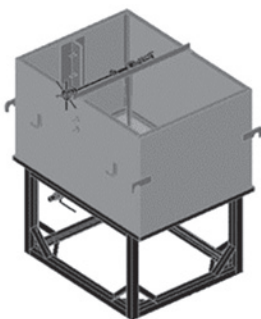
Экспериментальная установка была спроектирована, разработана и изготовлена на кафедре кораблестроения КнАГУ. Она включает в себя лазерный виброметр (Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001, Polytec GmbH, Germany) и предназначена для определения параметров вибрации механических систем, что позволяет определять амплитудно-частотные характеристики (АЧХ), а затем на их основе демпфирующие характеристики для различных материалов и различных внешних сред. В работе используются одна дюралюминиевая балка и модели с разными площадями парусности с разными площадями парусности, колеблющаяся в воздухе и в воде. При этом масса на конце колеблющейся балки во всех случаях оставалась одинаковой.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

На рис. 1 схематически изображена опытная экспериментальная установка. Она предназначена для определения параметров при свободных колебаниях консоли. Данная установка позволяет выполнить расчет АЧХ и на их основе коэффициентов сопротивления внутренней среды, коэффициентов демпфирования материала колеблющейся системы.

Чаша установка (см. рис. 1) предназначена для создания жидкой рабочей среды, в которой будут выполнены исследования.

а)



б)



в)



Рис. 1. Экспериментальная установка (а), установка, совместно с лазерным виброметром (на переднем плане) (б) и лазерный виброметр (в)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЕМПФИРОВАНИЯ ДЮРАЛЮМИНИЕВОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ИДЕИ ПРЕДЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДА С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ВИБРОМЕТРА

Н.А. Тарануха, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник ВШ РФ, зав.кафедрой кораблестроения, **Мин Ко Ко**, аспирант, Комсомольский-на-Амуре государственный университет, контакт. тел. +7 (914) 177 3739, +7 (999) 083 6953, nikoltar@yandex.ru, minkoko19@yandex.ru

Виброметр имеет высокую чувствительность и реагирует даже на шаги человека рядом с установкой, что требует особой внимательности при выполнении экспериментов.

Консольная балка (рис. 2) необходима для определения параметров свободных колебаний механической системы с точечной массой, которая во всех случаях одинакова.



Рис. 2. Вид консольной балки (экспериментальная модель из исследуемого материала)

Консоль состоит из элементов:

- балки, жестко закрепленной устройством защемления (материал – дюралюминий);
- модели, консольной балки с точечной массой на конце.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Замер АЧХ на модели и на флажке проводится в программе «Polytec vibrometer software». В работе используются четыре модели с разными площадями парусности (рис. 3). У всех моделей массы концевой груза одинаковые.

Площадь парусности $S_{\text{пар}}$ – это площадь боковой поверхности колеблющейся балки. Эта площадь испытывает при колебаниях сопротивление внешней среды (воздуха или жидкости) и включает в себя боковую площадь концевой груза и боковую площадь самой балки (см. рис.3) с учетом перекрытия поверхностей.

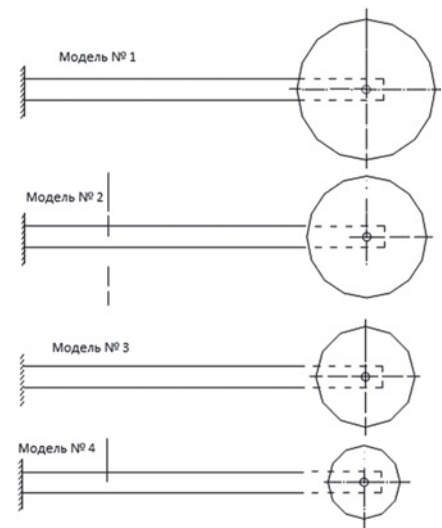


Рис. 3. Модели с разными площадями парусности, но одинаковыми массами грузов

Характеристики дюралюминиевой балки

Длина L , м.....	0,355
Ширина h , м.....	0,04
Толщина b , м.....	0,0022
Площадь парусности, м ²	
$S_{\text{гал}} = L \times h = 0.355 \times 0,04 =$	0,0142

Для модели №1:

диаметр массы D_1 , м.....0,067

радиус r_1 , м.....0,0335

площадь парусности, m^2

$$S_{груз} = \pi r_1^2 = 0,003526$$

полная площадь парусности, m^2

$$S_{пол} = S_{бал} + S_{груз} =$$

$$= 0,0142 + 0,003526 = 0,017726$$

перекрываваемая площадь, m^2

$$S_{пере} = 0,002$$

общая площадь парусности массы, m^2

$$S_{пар1} = S_{пол} - S_{пере} = 0,015726$$

Для модели №2:

диаметр массы D_2 , м.....0,058

радиус r_2 , м.....0,029

площадь парусности, m^2

$$S_{груз} = \pi r_2^2 = 0,002642$$

полная площадь парусности, m^2

$$S_{пол} = S_{бал} + S_{груз} =$$

$$= 0,0142 + 0,002642 = 0,016842$$

перекрываваемая площадь, m^2

$$S_{пере} = 0,00176$$

общая площадь парусности массы, m^2

$$S_{пар2} = S_{пол} - S_{пере} = 0,015082$$

Для модели №3:

диаметр массы D_3 , м.....0,047

радиус r_3 , м.....0,0235

площадь парусности, m^2

$$S_{груз} = \pi r_3^2 = 0,001735$$

полная площадь парусности, m^2

$$S_{пол} = S_{бал} + S_{груз} =$$

$$= 0,0142 + 0,001735 = 0,015935$$

перекрываваемая площадь, m^2

$$S_{пере} = 0,0012$$

общая площадь парусности массы, m^2

$$S_{пар3} = S_{пол} - S_{пере} = 0,014735$$

Для модели №4:

диаметр массы D_4 , м.....0,035

радиус r_4 , м.....0,0175

площадь парусности, m^2

$$S_{груз} = \pi r_4^2 = 0,000962$$

полная площадь парусности, m^2

$$S_{пол} = S_{бал} + S_{груз} =$$

$$= 0,0142 + 0,000962 = 0,015162$$

перекрываваемая площадь, m^2

$$S_{пере} = 0,000962$$

общая площадь парусности массы, m^2

$$S_{пар4} = S_{пол} - S_{пере} = 0,0142$$

(См. в таблице вычисления общей площади парусности).

Лазерный виброметр направляет луч и получает обратно свой луч через специальное отверстие в стенке

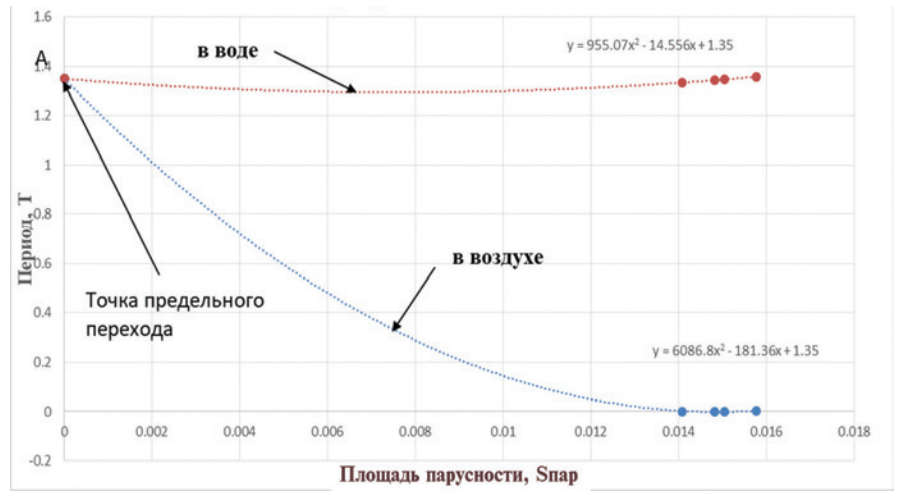


Рис. 4. Зависимость периода T от площади парусности

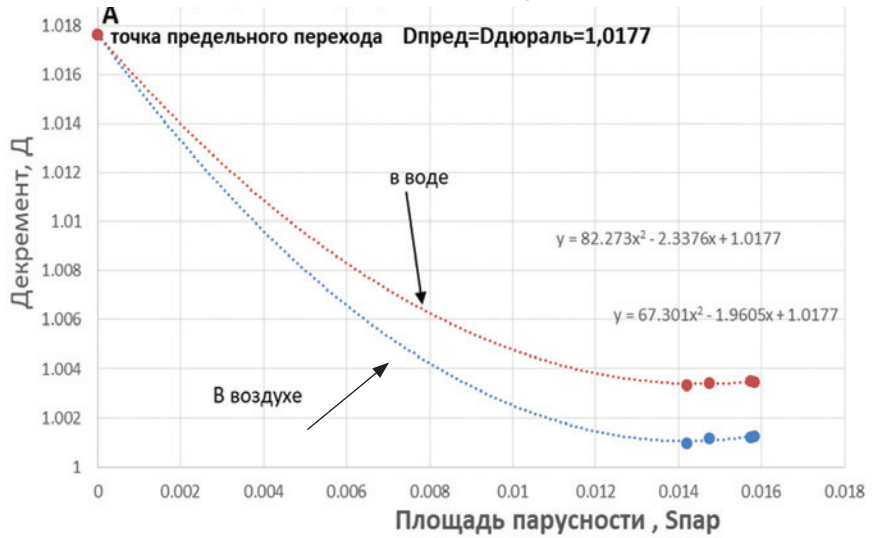


Рис. 5. Зависимость декремента дюралюминиевой балки D от площади парусности

чаши. При этом луч направляется на отражательную пластину, наклеенную на поверхности концевой груза колеблющейся балки. Если рассматривается колебание балки в жидкости, то на концевой груз крепится специальный вертикальный стержень с отражательной площадкой (флажок), который возвышается над поверхностью жидкости. В этом случае луч виброметра направляется на этот флажок, на который наклеена отражательная пластинка.

Для успешного снятия данных с консоли с флажком в жидких средах необходимо учитывать его дополнительные колебания флажка. Они определяются с помощью специальных тестовых экспериментов.

После снятия показаний АЧХ на модели и на флажке полученные данные обрабатываются с помощью программы Microsoft Excel. По ним строятся графики зависимости периода T и декремента D от площади парусности $S_{пар}$ (рис. 4 и рис. 5). Заметим, что все графики для всех случаев и всех материалов уверенно и постоянно сходятся (пересекают вертикальную ось) в одной точке А – точке предельного перехода. Наличие ее – проявление и доказательство научного открытого авторами «эффекта предельного перехода». Существование такого эффекта – это отражение того факта, что демпфирующие свойства материала являются фундаментальными динамическими механическими характеристиками (константами) материала, такими же, как статические характеристики – модуль упругости и коэффициент Пуассона. Есть материал – есть ди-

Вычисления общей площади парусности

Варианты схемы (см. рис. 3)	$d_{гр}$, м	$S_{гр}$, m^2	$S_{блк}$, m^2	$S_{пер}$, m^2	$S_{пар}$, m^2
1	67×10^{-2}	$3,526 \times 10^{-3}$	$14,2 \times 10^{-3}$	$1,84 \times 10^{-3}$	$15,726 \times 10^{-3}$
2	58×10^{-2}	$2,642 \times 10^{-3}$	$14,2 \times 10^{-3}$	2×10^{-3}	$15,082 \times 10^{-3}$
3	47×10^{-2}	$1,735 \times 10^{-3}$	$14,2 \times 10^{-3}$	$1,76 \times 10^{-3}$	$14,735 \times 10^{-3}$
4	35×10^{-2}	$0,926 \times 10^{-3}$	$14,2 \times 10^{-3}$	$0,962 \times 10^{-3}$	$14,2 \times 10^{-3}$

Здесь $d_{гр}$, м – диаметр поверхности груза; $S_{гр}$, m^2 – площадь поверхности груза; $S_{блк}$, m^2 – площадь парусности балки; $S_{пер}$, m^2 – перекрываваемая площадь; $S_{пар}$, m^2 – общая площадь парусности.

Таблица

намическая константа – коэффициент демпфирования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

При определении амплитуд вынужденных колебаний особенно в резонансной зоне, учет и оценка демпфирования имеет важное значение.

Демпфирование – это способность материала или внешней среды поглощать вибрацию. Следует различать несколько видов неупругого демпфирования:

- внешней среды (т.е. демпфирование окружающей вязкой жидкости, такой как вода, нефти и химические продукты, газы, а также воздух);
- внутренней среды (т.е. трение внутри материала).

Колебания в точке с «нулевой парусностью» трактуются как колебания в вакууме.

В точке предельного перехода площадь парусности конструкции равна нулю, это означает, что реальных размеров колеблющейся конструкции как бы нет (предельное состояние по размерам конструкции), а значит, нет и влияния масштабного фактора. Так как площадь парусности колеблющейся конструкции в точке предельного перехода равна нулю, то в этой точке как бы исчезает влияние сопротивления внешней среды (предельное состояние по влиянию внешней среды). В точке предельного перехода А колеблющаяся конструкция как бы переходит в свое предельное состояние, когда у конструкции нет размеров (площадь парусности равна нулю) и нет влияния сопротивления неупругой внешней среды (например, окружающей жидкости). Для такой колеблющейся системы сопротивление (затухание колебаний) обуславливается только наличием внутреннего сопротивления материала колеблющейся системы, а не особенностями конструкции.

ПОЯСНЕНИЕ ИДЕИ И ЭФФЕКТА ПРЕДЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДА

На рис. 4 и рис. 5 видно, что все графики для воздуха и жидкости при уменьшении до нуля площади парусности колеблющейся балки сходятся в одной точке А – точке предельного перехода. Поясним это: в этой точке площадь парусности колеблющейся конструкции равна нулю. Это означает, что реальных размеров у этой конструкции нет (предельное состояние по размерам конструкции, а значит, и нет влияния масштабного фактора). Соответствующие

этой точке АЧХ (период T и декремент D) являются предельными. Получить предельную точку А прямым экспериментом нельзя. Ее можно получить только методом экстраполяции значений периода и декремента при других экспериментальных значениях площади парусности исследуемой конструкции. Для выполнения процедуры экстраполяции предварительно строится функция полинома по известным экспериментальным значениям.

При $S_{\text{пар}} = 0$ получают предельные значения периода $T_{\text{пред}}$ и декремента $D_{\text{пред}}$, по которым вычисляются искомые значения коэффициента внутреннего сопротивления (коэффициент демпфирования) материала колеблющейся конструкции:

$$\psi = 2 \ln D_{\text{пред}}; \quad (1)$$

коэффициент внутреннего сопротивления (коэффициент демпфирования)

$$\gamma = \frac{\psi}{2\pi}. \quad (2)$$

Как было сказано выше, точку предельного перехода А прямым экспериментом найти невозможно, но ее можно получить путем экстраполяции по нескольким экспериментальным, построив полином по нескольким различным площадям парусности, но при одинаковой массе колеблющейся системы. (см.рис. 4 и рис. 5). В точке А можно определить предельные значения периода $T_{\text{пред}}$ и декремента $D_{\text{пред}}$ и по формулам (1) и (2) вычислить коэффициент демпфирования, характеризующий демпфирующие свойства внутренней среды (материала).

Вычислим коэффициенты демпфирования:

$$\text{при } D_{\text{дюраль}} = 1,0177 \text{ (рис. 5)}$$

$$\psi_{\text{дюраль}} = 2 \ln D_{\text{дюраль}} = \\ = 2 \ln(1,0177) = 0,035,$$

$$\gamma_{\text{дюраль}} = \frac{\psi_{\text{дюраль}}}{2\pi} = \\ = \frac{0,035}{2\pi} = \frac{0,035}{2 \times 3,142} = 0,0056,$$

где $D_{\text{дюраль}}$ – декремент дюралюминия; $\psi_{\text{дюраль}}$ – коэффициент поглощения дюралюминия; $\gamma_{\text{дюраль}}$ – коэффициент демпфирования дюралюминия.

ВЫВОДЫ

Коэффициент демпфирования (внутреннего трения), полученный экспериментально для материала дюралюминиевой балки $\gamma_{\text{дюраль}} = 0,0056$ и полностью соответствует известному справочному значению, полученному другими авторами: коэффициент демпфирования

(внутреннего трения) дюралюминия $\gamma_{\text{дюраль}} = 0,003-0,009$. А именно, среднее значение справочных данных $\psi_{\text{дюраль/сред}}^{\text{справочн}} = 0,0060$. Значение, полученное авторами статьи по методу предельного перехода $\psi_{\text{дюраль}}^{\text{авт}} = 0,0056$ [13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко С. В. Вибрация судов: Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 148 с.
2. Постнов В. А., Тарануха Н.А. Оценка напряженно-деформированного состояния корпуса судна методом модуль-элементов // Судостроение., – 1983. – №5. – С. 5 – 8.
3. Сорокин Е. С. Метод учета неупругого сопротивления материала при расчете конструкций на колебания – В сб.: Исследования по динамике сооружений – М.: Госстройиздат, 1951.
4. Пановко Я. Г. Внутреннее трение при колебаниях упругих систем. – М.: Физматгиз, 1960. – 196 с.
5. Постнов В. А., Калинин В.С., Ростовцев Д.М. Вибрация корабля – Л.: Судостроение, 1983. – 248 с.
6. Тарануха Н. А., Худяков С.А. Динамика упругих систем в машинных отделениях судов с главными малооборотными дизелями. – Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 2012. – № 67. – С. 161–168.
7. Тарануха Н.А., Журбин О.В. Математическое моделирование колебаний сложных оболочек. Гидроупругая постановка с учетом сопротивления. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 253 с.
8. Тарануха Н. А., Лейзерович Г.С. Новые решения в динамике «неправильных» оболочек. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 203 с.
9. Тарануха Н. А., Лейзерович Г.С. О влиянии начальных отклонений от идеальной круговой формы цилиндрических оболочек на собственные изгибные колебания // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т.4. – № 2. – С. 180–187.
10. Тарануха Н.А., Журбина И.Н., Журбин О.В. Математическое и экспериментальное моделирование колебаний стержневых судовых конструкций с учетом сопротивления внешней среды различной плотности // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре ГТУ. – 2010. – № IV-1(4). – С. 81–91.
11. American Bureau of Shipping (Ed) (2006). Guidance notes on ship vibration. Houston, USA: American Bureau of Shipping ABS Plaza.
12. Тарануха Н.А., Мин Ко Ко. Экспериментальное исследование колебаний стальной балки с целью определения коэффициентов демпфирования материала на основе идеи предельного перехода с помощью лазерного виброметра // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т. 2. – № 2 (52). – С. 117–122.
13. <https://otvet.mail.ru/question/211701375> ■

В настоящее время военно-морской флот, невзирая на определенные проблемы, в том числе проблему недофинансирования, продолжает обновление своего боевого состава. Этот ключевой вывод следует из анализа российских государственных программ вооружения 2011–2020 гг. и 2018–2027 гг. Наблюдается стремление к серийному строительству кораблей, к усовершенствованию уже созданных небольших кораблей с целью увеличения их боеспособности.

Не менее важным направлением, чем создание новых кораблей и подводных лодок, для Российского ВМФ является разработка новых систем оружия и вооружения и улучшение существующих систем, а также боевых и эксплуатационных характеристик кораблей.

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 импортозамещающих материалов в кораблестроении и судоремонте вызывают серьезную обеспокоенность Министерства обороны России и ВМФ.

Особую обеспокоенность вызывают пожары на флоте. Практика показывает, что развитие пожаров на кораблях происходит с большой скоростью, площадь пожара растет скачкообразно и зависит от конструктивных особенностей корабля, прежде всего от горючести элементов корпуса, обшивки и оборудования жилых и служебных помещений.

Пожары на кораблях характеризуются высокой температурой, большой площадью задымления, что затрудняет, а порой делает невозможным доступ команды к очагу пожара и его локализацию. Большинство пожаров, практически 90%, происходит при стоянке кораблей в базе у пирсов, при ремонте, в доках [1].

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗГОРАНИЯ КОРАБЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В логико-вероятностной теории безопасности для каждого конкретного анализа безопасности требуется составить сценарий опасного состояния системы путем перебора возможных комбинаций состояний элементов системы или инициирующих такое состояние системы событий, приводящих к его возникновению. Ранее уже был рассмотрен такой сценарий для оценки пожарной безопасности жилых помещений на примере одноместной каюты офицеров (рис.1 и табл. 1).

ОЦЕНКА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРАБЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ЧАСТЬ 1

П.А. Зубков, канд. техн. наук, первый зам. ген. директора ООО «Морские комплексные системы», контакт. тел. (812) 441 2401, info@mcs-spb.com

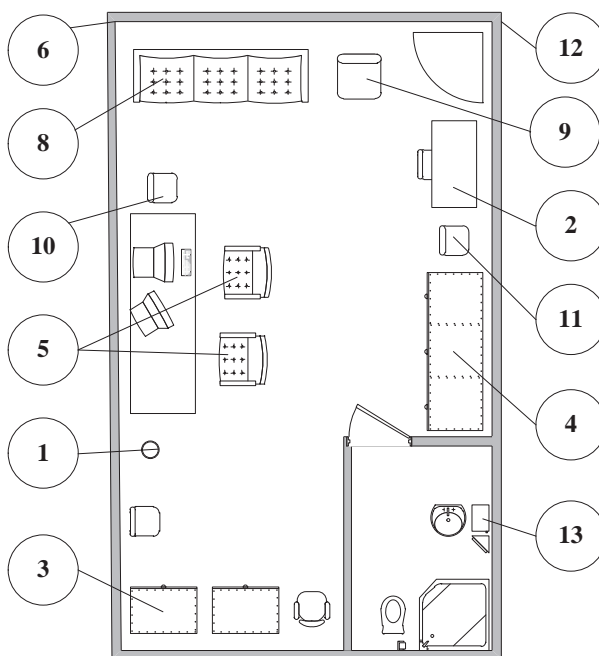


Рис. 1. Схема расположения мебели и оборудования в одноместной каюте (вид сверху)

Таблица 1

Перечень и характеристики оборудования и мебели в одноместной каюте

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Вес, кг
1	-	Мусорное ведро (под столом 2)	1	-
2	МКЕФ.324112.243-00-04	Стол письменный	1	69,7
3	МКЕФ.324212.201	Шкаф разного назначения	1	59,0
4	МКЕФ.324211.206-02	Шкаф для платья и белья двухстворчатый	1	87,0
5	ИГАП.301531.201	Кресло	2	2×9,55
6, 12	-	Переборки	2	-
8	МКЕФ.324411.219-01	Диван мягкий III	1	51,5
9	МКЕФ.324411.233-03	Диван мягкий	1	23,0
10	МКЕФ.324115.203-00-04	Стол преддиванный	1	29,9
11	МКЕФ.324511.208-01	Тумба прикроватная	1	19,0
13	МКЕФ.324275.205	Шкаф для туалетных принадлежностей	1	7,0

Также в предыдущей статье («Морской вестник», 2022, №1(81)) была построена соответствующая разрабатанному сценарию схема функциональной целостности (СФЦ), используемая в автоматизированной системе структурно-логического моделирования сложных систем, разработанная профессором ВУНЦ ВМФ «ВМА» А.С. Можаяевым, и заданы логические условия реализации системных функций каждой из вершин СФЦ [2]. В результате были разработаны вероятностные функции перехода системы (каюты офицеров с оборудованием) в опасное состояние или в состояние противопожарной безопасности.

Далее перейдем к количественной оценке вероятности наступления вышеуказанных событий.

Вероятность возгорания элементов оборудования, в том числе мебели каюты q_p , или сохранения ими устойчивости к возгоранию p_i в течение начального периода развития пожара, от возгорания источника (очага пожара) до перерастания в большой объемный пожар, зависит от множества факторов. Определяющее влияние оказывает класс горючести элементов мебели (материала, из которого она изготовлена) и остального оборудования каюты, т.е. горючести или негорючести. Немаловажное влияние также оказывают такие факторы, как масса горючего материала (одежда, обувь постельные принадлежности, бумага в виде книг, журналов и т.п.); скорость его выгорания; масса газовой среды, заполняющей каюту при пожаре; расход газов, покидающих каюту через проемы, и расход воздуха, поступающего в каюту из окружающей среды.

Для оценки указанной вероятности следует обратиться к упрощенной интегральной математической модели пожара в помещениях, разработанной в [3–6].

Математическая модель пожара в самом общем виде описывает изменение параметров состояния среды в корабельных помещениях, а также ограждающих конструкций (переборки и подволока) и оборудования во времени. Основные уравнения, из которых состоит математическая модель пожара, вытекают из фундаментальных законов природы – первого закона термодинамики, закона сохранения массы и закона импульса.

Эти уравнения отражают всю совокупность взаимосвязанных процессов, присущих пожару, таких как тепловыделение в результате горения, дымовыделение в пламенной зоне; выделение и распространение токсичных газов; газообмен помещений с окружающей средой и со смеж-

ными помещениями; теплообмен и нагревание переборки и подволока; снижение концентрации кислорода в помещении.

В основу уравнения пожара в помещении положено уравнение материального баланса пожара (первое уравнение пожара)

$$\frac{d(\rho_m V)}{dt} = G_B + \psi - G_T, \quad (1)$$

где G_B – расход поступающего в каюту внешнего воздуха из окружающей среды (атмосферы или смежных с каютой помещений) в рассматриваемый момент времени, кг/с; G_T – расход газов, покидающих каюту через проемы в рассматриваемый момент времени, кг/с; ψ – скорость выгорания пожарной нагрузки (или скорость газификации) горючего материала в рассматриваемый момент времени, кг/с; $\rho_m V$ – масса газовой среды (плотность, умноженная на объем каюты), заполняющей помещение в рассматриваемый момент времени, кг.

Левая часть уравнения есть изменение массы газовой среды в единицу времени в интервале, равном dt , а правая часть есть алгебраическая сумма потоков массы.

Дифференциальные уравнения баланса массы кислорода, баланса продуктов горения и баланса оптического количества дыма выглядят следующим образом:

– уравнение баланса массы кислорода

$$\frac{d}{dt}(\rho_1 V) = x_{1B} G_B - x_1 n_1 G_T - \psi L_1 \eta; \quad (2)$$

– уравнение баланса токсичного продукта горения

$$\frac{d}{dt}(\rho_2 V) = \psi L_2 \eta - x_2 n_2 G_T; \quad (3)$$

– уравнение баланса оптического количества дыма

$$\frac{d}{dt}(\mu_m V) = D\psi - \frac{\mu_m n_3}{\rho_m} G_T - k_C F_W. \quad (4)$$

Здесь ρ_1 – среднееобъемная парциальная плотность кислорода, кг/м³; ρ_2 – среднееобъемная парциальная плотность токсичного продукта горения, кг/м³; μ_m – объемная оптическая концентрация дыма, Нп/м.

В правой части уравнения (2) использованы, кроме ранее указанных, следующие обозначения: q_{1B} – массовая доля кислорода в поступающем воздухе; $x_1 = \frac{\rho_1}{\rho_m}$ – средняя массовая доля кислорода в помещении; L_1 – стехиометрический коэффициент для кислорода (количество кислорода, необходимое для сгорания единицы массы горючего материала), кг/кг; η – коэффициент

полноты сгорания; n_1 – коэффициент, учитывающий отличие концентрации кислорода в уходящих газах от среднееобъемной концентрации кислорода.

В правой части уравнения (3) использованы, кроме ранее указанных, следующие обозначения: L_2 – стехиометрический коэффициент для продукта горения (количество продукта горения, образующегося при сгорании единицы массы горючего материала), кг/кг;

$x_2 = \frac{\rho_2}{\rho_m}$ – средняя массовая доля токсичного газа в помещении; n_2 – коэффициент, учитывающий отличие концентрации токсичного газа в уходящих газах от среднееобъемной концентрации этого газа.

В правой части уравнения (4) использованы, кроме ранее указанных, следующие обозначения: n_3 – коэффициент, учитывающий отличие оптической концентрации дыма в уходящих газах от среднееобъемного значения оптической концентрации дыма; F_W – площадь поверхности ограждений (потолка, пола, стен), м²; k_C – коэффициент седиментации частиц дыма на поверхностях ограждающих конструкций, Нп/с. Коэффициент седиментации по физическому смыслу есть скорость осаждения частиц дыма.

На основе первого закона термодинамики выводится уравнение энергии пожара. Рассматриваемая термодинамическая система, т.е. газовая среда внутри контрольной поверхности, характеризуется тем, что она не совершает работы расширения. Кинетическая энергия видимого движения газовой среды в помещении пренебрежимо мала по сравнению с ее внутренней энергией. Потоки массы через некоторые участки контрольной поверхности (проемы) характеризуются тем, что в них удельная кинетическая энергия газа пренебрежимо мала по сравнению с удельной энтальпией (теплосодержанием).

С учетом вышеизложенного уравнение энергии пожара выглядит следующим образом:

$$\frac{1}{k-1} \frac{d}{dt} p_m V = \eta Q_H^p \psi + i_i \psi + C_{pb} T_B G_B - C_p T_m m G_T - Q_W. \quad (5)$$

Левая часть этого уравнения есть скорость изменения внутренней тепловой энергии газовой среды в помещении за единицу времени в рассматриваемый малый промежуток времени dt , т.е.

$$\frac{1}{k-1} \frac{d}{dt} p_m V = \frac{dU}{dt}. \quad (6)$$

В правой части уравнения (5) первый член $\eta Q_H^p \psi$ представляет собой количество тепла, поступающего за единицу времени в газовую среду в результате горения (скорость тепловы-

деления). Второй член $i_{\Gamma}\psi$ – это поток энергии в помещении, поступающий вместе с продуктами газификации (пиролиз, испарение) горючего материала. Здесь величина i_{Γ} – энтальпия этих продуктов. Третий член $C_{pB}T_B G_B$ – сумма внутренней тепловой энергии поступающего в единицу времени воздуха, и работы проталкивания, которую совершает внешняя атмосфера. Четвертый член $C_p T_m m G_{\Gamma}$ – сумма внутренней тепловой энергии, уносимой за единицу времени уходящими газами, и работы выталкивания, которую совершает рассматриваемая термодинамическая система (m – коэффициент, учитывающий отличие температуры T_{Γ} и изобарной теплоемкости $C_{p\Gamma}$ уходящих газов от среднеобъемной температуры T_m и среднеобъемной изобарной теплоемкости C_{pm} ($m = C_{p\Gamma} T_{\Gamma} / C_{pm} T_m$)). Пятый член Q_w представляет собой тепловой поток, поглощаемый ограничивающими (ограждающими) конструкциями и излучаемый через проемы.

Представленная выше модель пожара – наиболее проста для вычисления. Но даже для нее получить аналитическое решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений, составляющих базу интегральной модели пожара в помещении, в общем случае невозможно, а для прогнозирования опасных факторов пожара необходимы численное решение и разработка соответствующей компьютерной программы [4, 7].

Аналитические соотношения для определения критической продолжительности пожара могут быть получены в результате введения в интегральную математическую модель ряда допущений, принятие которых теоретически возможно на начальной стадии пожара в корабельном помещении.

Начальная стадия процесса развития пожара в каюте характеризуется целым рядом особенностей, которые существенным образом влияют на динамику опасных факторов пожара. В начальной стадии пожара практически отсутствует влияние процесса снижения концентрации кислорода на выгорание горючего материала и, соответственно, на тепловыделение в очаге горения. Кроме того, если помещение имеет небольшую проемность (т. е. отношение площади проемов к площади ограждающих конструкций составляет величину порядка 1% и менее), то вначале после воспламенения горючего материала в течение относительно большого времени в помещение не поступает извне свежий воздух и наблюдается только выталкивание газов из помещения через проемы и щели [4], что подтверждается многими экспериментами. На начальной стадии пожара при повыше-

нии средней температуры газовой среды вплоть до критических значений, при которых температура среды в рабочей зоне становится равной предельно допустимому значению $T_{плд} = 70^{\circ}\text{C}$, опасному для человека, имеет место очень незначительное увеличение средней температуры поверхностей ограждающих конструкций (переборки и подволоки). Эти и другие особенности процесса развития пожара позволяют существенно упростить систему дифференциальных уравнений. Такая упрощенная система уравнений представляет собой так называемую интегральную модель начальной стадии пожара.

Итак, если ввести допущение об отсутствии поступления воздуха извне, в дифференциальных уравнениях пожара (1) – (4) можно отбросить члены, содержащие расход воздуха, так как $G_B = 0$.

Кроме того, рассматривая негерметичные помещения (такие, как каюты), в которых среднее давление среды остается практически постоянным, равным давлению наружного воздуха, с достаточной точностью можно принять:

$$\frac{dp_m}{dt} \cong 0; \quad (7)$$

$$\rho_m T_m = \rho_0 T_0, \quad (8)$$

где ρ_0 , T_0 – плотность и температура среды перед началом пожара; ρ_m , T_m – соответственно, средние значения плотности и температуры среды в рассматриваемый момент времени; p_m – среднее давление в помещении.

Интервал времени, в течение которого наблюдается односторонний газообмен, относительно небольшой. Средняя температура и концентрация кислорода в помещении изменяются за это время незначительно. Поэтому можно принять, что величины η , D , R на этой стадии пожара остаются неизменными. Кроме того, принимается, что $n_1 = n_2 = n_3 = m = 1$; $V = \text{const}$; $c_p = c_{pB}$.

С учетом принятых допущений уравнения пожара для его начальной стадии в каюте с малой проемностью принимают:

$$V \frac{dp_m}{dt} = \psi - G_{\Gamma}; \quad (9)$$

$$\psi Q_H^p \eta - c_p T_m G_{\Gamma} - Q_w = 0; \quad (10)$$

$$V \frac{d\rho_1}{dt} = -\psi L_1 \eta - \frac{\rho_1}{\rho_m} G_{\Gamma}; \quad (11)$$

$$V \frac{d\rho_2}{dt} = -\psi L_2 \eta - \frac{\rho_2}{\rho_m} G_{\Gamma}; \quad (12)$$

$$V \frac{d\mu_m}{dt} = \psi D - \mu_m \frac{1}{\rho_m} G_{\Gamma}. \quad (13)$$

Принимая также допущение о том, что отношение теплового потока в ограждения (переборки и подволоки) к

тепловыделению есть величина постоянная, равная своему среднему значению на этом интервале, т. е.

$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \frac{Q_w}{Q_{\text{пож}}} dt = \varphi, \quad (14)$$

где $Q_{\text{пож}} = \psi \eta Q_H^p$; τ – время окончания начальной стадии пожара.

Величину τ принято называть «коэффициентом теплопотерь» [8] или «коэффициентом теплопоглощения» [4].

Уравнение энергии (10) при использовании соотношения (15) преобразуется к виду

$$\psi Q_H^p \eta (1 - \varphi) - c_p T_m G_{\Gamma} = 0. \quad (16)$$

Из (16) получается формула для вычисления расхода выталкиваемых газов в каждый момент времени:

$$G_{\Gamma} = \frac{\psi Q_H^p \eta (1 - \varphi)}{c_p T_m}. \quad (17)$$

С учетом выражения (9) уравнения (9), (11), (12) и (14) преобразуются к виду

$$V \frac{dp_m}{dt} = \psi \left[1 - \frac{Q_H^p \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0} \rho_m \right]; \quad (18)$$

$$V \frac{d\rho_1}{dt} = -\psi L_1 \eta \left[1 + \frac{Q_H^p \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0 L_1} \rho_1 \right]; \quad (19)$$

$$V \frac{d\rho_2}{dt} = \psi L_2 \eta \left[1 - \frac{Q_H^p \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0 L_2} \rho_2 \right]; \quad (20)$$

$$V \frac{d\mu_m}{dt} = \psi D - \left[1 - \frac{Q_H^p \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0 D} \mu_m \right]. \quad (21)$$

Данные уравнения представляют собой частный случай основной (неупрощенной) системы уравнений пожара. При этом каждое дифференциальное уравнение является уравнением с разделяющимися переменными. Уравнение (18) можно еще более упростить, если учесть, что для подавляющего большинства горючих материалов величина $Q_H^p = 107$ Дж/кг, теплоемкость газовой среды в помещении $c_p = 103$ Дж/(кг·К), произведение начальных значений плотности и температуры $\rho_0 T_0 \approx 300$ кг·К/м³, коэффициент полноты горения $\eta \approx 1$, величина коэффициента теплопотерь $\varphi = 0,25 - 0,6$ [4, 9]. Тогда второй член в прямоугольных скобках этого уравнения во много раз больше единицы, т. е.

$$\frac{Q_H^p \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0} \rho_m \gg 1. \quad (22)$$

В связи с этим в прямоугольных скобках уравнения (18) можно отбросить единицу, тогда оно примет следующий вид:

$$V \frac{dp_m}{dt} = -\psi \frac{Q_H^p \eta (1 - \varphi)}{c_p \rho_0 T_0} \rho_m. \quad (23)$$

Разделим переменные и затем проинтегрируем правую и левую части уравнения (18), используя при этом указанное ранее начальное условие:

$$\int_{\rho_0}^{\rho_m} \frac{d\rho_m}{\rho_m} = -\frac{Q_H^p \eta (1-\varphi)}{c_p \rho_0 T_0 V} \int_0^\tau \psi dt. \quad (24)$$

Интеграл в правой части уравнения (24) – это масса горючего материала, сгоревшего к моменту времени τ , т. е.

$$\int_0^\tau \psi dt = M_\tau, \quad (25)$$

где M_τ – масса сгоревшего горючего материала, кг.

Например, если процесс распространения пожара по поверхности твердого горючего материала является круговым, то функция ψ имеет следующий вид:

$$\psi = \psi_{уд} \pi v_l^2 \tau^2, \quad (26)$$

где $\psi_{уд}$ – удельная массовая скорость выгорания, кг/(м²·с); v_l^2 – линейная скорость распространения пламени по площади размещения пожарной нагрузки, м/с².

Подставляя формулу (26) в подынтегральное выражение формулы (25), получаем

$$M_\tau = \frac{\pi}{3} \psi_{уд} v_l^2 \tau^3 = 1,05 \psi_{уд} v_l^2 \tau^3. \quad (27)$$

Если процесс распространения пожара по поверхности твердых горючих материалов является линейным, то функция

$$\psi = k \psi_{уд} v_l b_\Gamma \tau, \quad (28)$$

где b_Γ – ширина фронта пламени, м; k – число направлений распространения пламени (при распространении пламени в одну сторону $k = 1$, в направлениях, противоположных друг другу, $k = 2$).

Подставляя формулу (28) в выражение (25), получаем

$$M_\tau = \frac{k}{2} \psi_{уд} v_l b_\Gamma \tau^2. \quad (29)$$

Все представленные формулы для расчета массы выгоревшего горючего материала можно выразить одной формулой:

$$M_\tau = A \tau^n, \quad (30)$$

где

$$A = \begin{cases} \frac{\pi}{3} \psi_{уд} v_l^2 & \text{– при круговом} \\ \text{распространении пожара по} \\ \text{твердому горючему материалу;} \\ \frac{k}{2} \psi_{уд} v_l b_\Gamma & \text{– при линейном} \\ \text{распространении пожара по} \\ \text{твердому горючему материалу;} \\ \psi_{уд} F & \text{– при установившемся} \\ \text{горении горючей жидкости;} \end{cases}$$

$$n = \begin{cases} 3 & \text{– при круговом распространении} \\ \text{пожара по твердому} \\ \text{горючему материалу;} \\ 2 & \text{– при линейном распространении} \\ \text{пожара по твердому} \\ \text{горючему материалу;} \\ 1 & \text{– при установившемся горении} \\ \text{горючей жидкости.} \end{cases}$$

Подставляя формулу (30) в уравнение (24), после интегрирования левой части этого уравнения получаем следующее выражение:

$$\ln \frac{\rho_m}{\rho_0} = -\frac{A}{B} \tau^n, \quad (31)$$

$$\text{где } B = \frac{\rho_0 T_0 c_p V}{(1-\varphi) \eta Q_H^p}. \quad (32)$$

Потенцируя выражение (31), получаем следующую формулу, описывающую зависимость средней плотности от времени:

$$\frac{\rho_m}{\rho_0} = \exp\left(-\frac{A}{B} \tau^n\right). \quad (33)$$

Из этой формулы с учетом соотношения (19) выводим формулу, описывающую процесс нарастания средней температуры среды в помещении:

$$\frac{T_m}{T_0} = \exp\left(\frac{A}{B} \tau^n\right). \quad (34)$$

Из выражения (34) следует, что средняя температура в каюте при пожаре может быть определена как

$$T_m = T_0 \cdot \exp\left(\frac{A}{B} \tau^n\right). \quad (35)$$

Таким образом, окончательно можно утверждать, что средняя температура в каюте T_m при пожаре в любой момент времени τ зависит от массы горючего материала $M_\tau = A \tau^n$, т.е. от пожарной нагрузки, теплотворной способности горючего материала Q_H^p , скорости выгорания ψ и от линейной скорости распространения пожара v_l .

Время выгорания массы горючего материала M (пожарной нагрузки) может быть определено из выражения (27) для кругового распространения пожара или (29) для линейного распространения пожара:

$$\tau = \sqrt[3]{\frac{M_{пн}}{1,05 \cdot \psi_{уд} \cdot v_l^2}}; \quad \tau = \sqrt[2]{\frac{2 \cdot M_{пн}}{k \cdot b_\Gamma \cdot \psi_{уд} \cdot v_l}}, \quad (36)$$

где $M_{пн}$ – масса пожарной нагрузки каюты.

Для оценки вероятности разрушения переборки каюты и распространения пожара в смежные помещения необходимо рассчитать суммарный тепловой поток в ограждающие конструкции, т.е. в переборки, который определяется из соотношения

$$Q_w = \alpha F_w (T_m - T_w), \quad (37)$$

где F_w – суммарная площадь поверхности ограждений; T_w – осредненная по площади F_w температура внутренней поверхности переборки и подволока, которая может быть рассчитана по эмпирической формуле [4]:

$$T_w = T_0 + 0,2(T_m - T_0) + 0,00065(T_m - T_0)^2; \quad (38)$$

где α – приведенный коэффициент теплоотдачи, определяемый из эмпирических выражений [4],

$$\alpha = \begin{cases} 4,07 \sqrt[3]{T_m - T_w}, & \text{при } T_w < 333^\circ\text{K} \\ 11,6 \exp[0,0023(T_m - 273)], & \text{при } T_m \geq 333^\circ\text{K}. \end{cases} \quad (39)$$

Представленная выше система уравнений описывает свободное развитие пожара, когда не происходит тушение и в помещение не подаются огнетушащие вещества.

Факторы, обусловленные подачей огнетушащих веществ в объем помещения, учитываются путем введения в дифференциальные уравнения дополнительных членов. Например, при тушении инертными газами (аргон, азот, диоксид углерода) уравнение материального баланса пожара записывается следующим образом:

$$\frac{d(\rho_m V)}{dt} = G_b + \psi - G_\Gamma + G_{об}, \quad (40)$$

где $G_{об}$ – массовый расход подачи огнетушащего вещества, кг/с.

Соответствующим образом изменяется в этом случае и уравнение энергии:

$$\frac{1}{k-1} \frac{d}{dt} (\rho_m V) = \eta Q_H^p \psi + i_\Gamma \psi + C_{пв} T_b G_b - C_p T_m m G_\Gamma + C_{рОб} T_{Об} G_{Об} - Q_w. \quad (41)$$

Дополнительно может быть учтено влияние концентрации огнетушащего вещества на скорость выгорания пожарной нагрузки [6].

При тушении распыленной водой следует принимать во внимание эффекты испарения капель, охлаждения ограждающих конструкций и соответствующую для этих условий скорость выгорания горючего материала [10, 11].

Аналогичным образом может быть учтена работа приточно-вытяжной вентиляции. Для этого следует ввести в дифференциальные уравнения дополнительные члены, связанные с расходами приточных $G_{пр}$ и уходящих в вентиляционные проемы $G_{выт}$ газов.

Ниже, в табл. 2, представлены характеристики оборудования и мебели каюты, а также ограждаемых конструкций (переборки), необходимые для оценки вероятности их уязвимости от пожара. Однако указанная информация для оценки уязвимости элементов каюты является неполной, так как в ней не учтена пожарная нагрузка служебного и личного имущества, находящегося в каюте и хранящегося в шкафах, столах, диванах, тумбе (одежда, постельные принадлежности, документация, книги и т.п.), и усиливает как вероятность перерастания возгорания в большой объемный пожар, так и вероятность распространения пожара в смежные по-

Характеристики оборудования каюты для оценки противопожарной безопасности

№ поз.	Наименование оборудования	Масса, кг	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Воспламеняемость по ГОСТ 30402–96	Группа горючести, по ГОСТ 30244–94
1	Мусорное ведро пластмассовое, заполненное бумагой	3,5	23,5	0,08	0,028	B3	Г4
2	Стол письменный:						
	– из алюминия	30,5	0	0	0	B1	НГ
	– из стали	69,7	0	0	0	B1	НГ
	– из дерева (столярная плита, облицованная шпоном)	75,8	20	0,014	0,015	B3	Г4
3	–3-слойные щиты (снаружи слоистый пластик, внутри пенопласт, поропласт)	48,6	35	0,015	0,018	B3	Г4
	Шкаф разного назначения:						
	– из алюминия	25,8	0	0	0	B1	НГ
	– из стали	59	0	0	0	B1	НГ
4	– из дерева (столярная плита, облицованная шпоном)	64,3	20	0,014	0,015	B3	Г4
	–3-слойные щиты (снаружи слоистый пластик, внутри пенопласт, поропласт)	41,2	35	0,015	0,018	B3	Г4
	Шкаф для платья и белья двухстворчатый:						
	– из алюминия	38	0	0	0	B1	НГ
5	– из стали	87	0	0	0	B1	НГ
	– из дерева (столярная плита, облицованная шпоном)	94,6	20	0,014	0,015	B3	Г4
	–3-слойные щиты (снаружи слоистый пластик, внутри пенопласт, поропласт)	60,8	35	0,015	0,018	B3	Г4
	Кресло металлическое с тканью обивочной TREARTEX	9,55	17	0,008	0,007	B1	Г1
6, 12	Переборки:						
	– из стали класса огнестойкости А-15	-	-	-	-	НВ	НГ
	– сэндвич-панели Strongbox класса огнестойкости В-15	-	-	-	-	НВ	НГ
8	– переборки из стали класса огнестойкости С	-	-	-	-	НВ	НГ
	Диван мягкий III с тканью обивочной TREARTEX	51,5	17	0,008	0,007	B1	Г1
	Диван мягкий с тканью обивочной TREARTEX	23	17	0,008	0,007	B1	Г1
10	Стол преддиванный:						
	– из алюминия	13,1	0	0	0	НВ	НГ
	– из стали	29,9	0	0	0	НВ	НГ
	– из дерева (столярная плита, облицованная шпоном)	32,5	20	0,014	0,015	B3	Г4
11	–3-слойные щиты (снаружи слоистый пластик, внутри пенопласт, поропласт)	22,7	35	0,015	0,018	B3	Г4
	Тумба прикроватная:						
	– из алюминия	8,3	0	0	0	НВ	НГ
	– из стали	19	0	0	0	НВ	НГ
11	– из дерева (столярная плита, облицованная шпоном)	20,7	20	0,014	0,015	B3	Г4
	–3-слойные щиты (снаружи слоистый пластик, внутри пенопласт, поропласт)	13,3	35	0,015	0,018	B3	Г4

Характеристики оборудования каюты для оценки противопожарной безопасности

№ поз.	Наименование оборудования	Масса, кг	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Воспламеняемость по ГОСТ 30402–96	Группа горючести, по ГОСТ 30244–94
13	Шкаф для туалетных принадлежностей:						
	– из алюминия	3,1	0	0	0	НВ	НГ
	– из стали	7	0	0	0	НВ	НГ
	– из дерева (столярная плита, облицованная шпоном)	7,7	20	0,014	0,015	В3	Г4
	– 3-слойные щиты (снаружи слоистый пластик, внутри пенопласт, поропласт)	5,4	35	0,015	0,018	В3	Г4

Таблица 3

Характеристики дополнительной пожарной нагрузки оборудования каюты для оценки противопожарной безопасности

№ поз.	Наименование дополнительной нагрузки оборудования каюты	Масса, кг	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с)	Линейная скорость распространения пламени, м/с	Воспламеняемость по ГОСТ 30402–96	Группа горючести, по ГОСТ 30244–94
2	Стола письменного: телефон, стопки документации в бумажном виде, бумага, компьютер	≈ 16,0	13,4	0,0042	0,04	В3	Г4
3	Шкафов разного назначения: стопки документации, книги	≈ 25,0	13,4	0,0042	0,04	В3	Г4
4	Шкафа для платья и белья двухстворчатого: военная и гражданская форма одежды, личные вещи, стопки белья, обувь	≈ 30,0	23,3	0,013	0,084	В3	Г4
8	Дивана мягкого III: накидка, покрывало	≈ 3,0	23,3	0,013	0,084	В3	Г4
9	Дивана мягкого: матрас, подушки, постельные принадлежности	≈ 12,0	23,3	0,013	0,084	В3	Г4
10	Стола преддиванного: журналы	≈ 5,0	13,4	0,0042	0,04	В3	Г4
11	Тумбы прикроватной: книги	≈ 5,0	13,4	0,0042	0,04	В3	Г4

мещения. Поэтому в табл. 3 представлена приблизительная информация о дополнительной пожарной нагрузке имущества, находящегося в шкафах, столах, полках и диванах.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПЕРЕРАСТАНИЯ ВОЗГОРАНИЯ В КАЮТЕ ДО БОЛЬШОГО ОБЪЕМНОГО ПОЖАРА

Получение исходных вероятностных характеристик к возгоранию оборудования каюты и мебели, основываясь только лишь на математической модели развития пожара в каюте, без учета вмешательства личного состава, т.е. когда не осуществляется тушение и в помещении не подаются огнетушащие вещества, было бы не совсем корректно. Поэтому, исходя из реальных условий возникно-

вения и протекания корабельных пожаров в жилых и служебных помещениях, будем считать, что возгорание в каюте может перерасти в большой объемный пожар в следующих случаях:

- если его не обнаружат до окончания развития пожара;
- если его обнаружат, но время реакции личного состава (время начала работы средств пожаротушения) будет большим по сравнению с временем развития пожара.

Сказанное можно представить следующим логическим уравнением:

$$П = (\tau_p < \tau_{ог}) \cdot [\tau_p < (\tau_{ог} + \tau_b)], \quad (42)$$

где τ_p – время развития пожара; $\tau_{ог}$ – время обнаружения; τ_b – время начала включения систем пожаротушения (время реакции личного состава).

Время обнаружения зависит от многих конкретных условий, и, в принципе, для каждой категории помещений можно установить экспериментально или методом экспертных оценок его математического ожидания $M(\tau_{ог})$ и среднего отклонения E_{τ} . Так, например, на основе экспертных оценок установлено, что среднее время обнаружения пожара в каютах составляет ~ 20 минут, а среднее отклонение ± 5 минут.

Время развития пожара в помещении исчисляется с момента возгорания до момента общей вспышки, т.е. момента достижения среднеобъемной температуры свыше 480–500°С. Температурный режим пожара в помещениях при газовом обмене с окружающей средой описывается зависимостью (35), представленной выше.

В реальных условиях время развития зависит от источника воспламенения, его площади, состояния газообмена, удельной горючей нагрузки помещения и скорости распространения огня. Указанные факторы определяют также значения среднеобъемной температуры T_m , которую также можно считать распределенной по нормальному закону симметрично относительно математического ожидания $M(T_m)$, определяемого по формуле (35), а также его среднее отклонение E .

Следует напомнить, что вероятностным (срединным) отклонением называется такое число E , что вероятность того, что случайная величина, подчиненная нормальному закону распределения $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$, попадает в интервал $(-E, E)$, равна $1/2$, т.е. $P(-E \leq x \leq E) = 1/2$, где σ – среднеквадратичное отклонение (рис. 2). Для любой случайной величины x , распределенной по нормальному закону распределения с центром рассеивания $x = m$, срединное отклонение E удовлетворяет соотношению $P(m - E \leq x \leq m + E) = 1/2$.

В нашем случае использование срединного отклонения в качестве меры степени отклонения случайной величины от его математического ожидания при определении среднеобъемной температуры или времени обнаружения пожара наиболее предпочтительно для удобства расчетов.

Рассмотрим график изменения среднеобъемной температуры в интервале возможного изменения времени обнаружения (см. рис. 2). Пересечение диапазонов времени обнаружения и графика развития пожара дает площадь $t_{\text{ни}}, t_{\text{вн}}$. Индексы при t обозначают верхние и нижние границы диапазонов времени и температуры.

Положение этой площади относительно граничной температуры 500°C вполне определяет вероятность развития пожара:

$$P_n = \begin{cases} 1 & \text{при } t_{\text{ни}} \geq 500^\circ\text{C}, \\ 0 & \text{при } t_{\text{вн}} < 500^\circ\text{C}, \end{cases} \quad (43)$$

где $t_{\text{вн}}$ – возможная высшая температура для данного помещения в установленном интервале времени обнаружения

$$t_{\text{вн}} = t_0 \cdot \exp\left(\frac{A}{B}(\tau + 4E_t)^n\right) + 4E_t, \quad (44)$$

где $t_{\text{ни}}$ – возможная наименьшая температура, равная

$$t_{\text{ни}} = t_0 \cdot \exp\left(\frac{A}{B}(\tau - 4E_t)^n\right) - 4E_t, \quad (45)$$

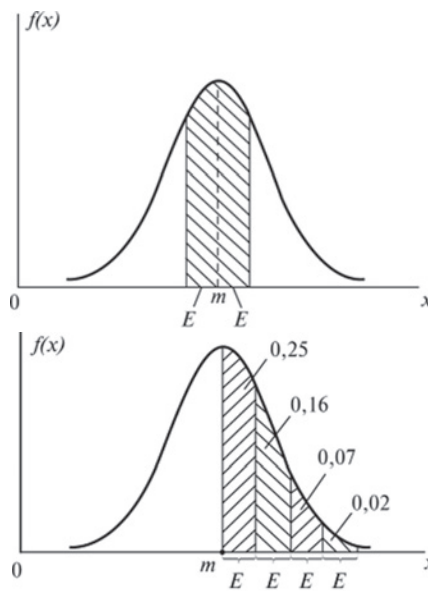


Рис. 2. Пояснение к определению срединного отклонения E

Если график граничной температуры $t_{\text{гп}}$ пересекает площадь температур, то $0 < P_n < 1$. Конкретные значения вероятности перерастания в пожар определяются размером участка площади температур над граничной температурой. Решать указанную задачу в системе двух случайных величин при их неортогональном пересечении довольно затруднительно.

Рассмотрим проекцию площади температур на ось t и примем допущение о том, что в диапазоне $t_{\text{вн}} - t_{\text{ни}}$ плотность вероятности перерастания загорания в пожар распределена по нормальному закону.

Срединное отклонение для этого распределения E_p может быть найдено из выражения (рис. 3)

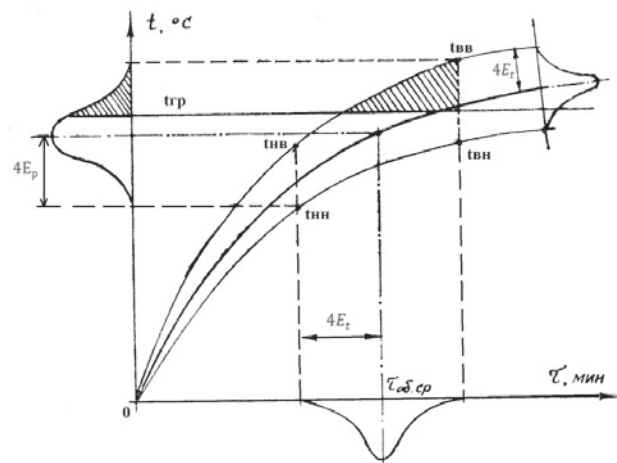


Рис. 3. Возможные значения среднеобъемной температуры в интервале времени обнаружения

$$E_p = \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{ни}}}{8} = \frac{\Delta t}{8}. \quad (46)$$

Тогда интересующая вероятность может быть определена по формуле

$$P_n = \frac{1}{2} \left[\Phi\left(\frac{\beta}{E_p}\right) - \Phi\left(\frac{\infty}{E_p}\right) \right], \quad (47)$$

где

$$\Phi(x) = \frac{2\rho}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-\rho^2 t^2} dt = \frac{E}{\sigma \cdot \sqrt{2}} = 0,4769 - \text{приведенная функция Лапласа,}$$

$$\rho = \frac{E}{\sigma \cdot \sqrt{2}} = 0,4769\beta - \text{внешняя граница;}$$

∞ – точка граничной температуры относительно центра распределения. Но $\beta = 4E_p$ по условию, тогда $\frac{\beta}{E_p} = 4$ и $\Phi(4) \approx 1,0$. Отсюда

$$P_n = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi\left(\frac{\infty}{E_p}\right) \right], \quad (48)$$

$$\alpha = t_{\text{гп}} - t_{\text{ни}} - \frac{\Delta t}{2}. \quad (49)$$

Таким образом, первое слагаемое логического уравнения (42) определено. Второе слагаемое этого уравнения вычисляется аналогично, с той лишь разницей, что в уравнениях (44) и (45) вместо $\tau_{\text{об}}$ следует подставлять

$$\tau_{\text{об}} = \tau_{\text{в}} + \tau, \quad (50)$$

где $\tau_{\text{в}} = 5$ мин. – среднее время включения систем пожаротушения при $E_{\text{в}} = 2$ мин. – его срединное отклонение, определенные на основе экспертных оценок. Значение E_t данном случае

$$E_t = \sqrt{E_{\text{тоб}}^2 + E_{\text{в}}^2}, \quad (51)$$

где $E_{\text{тоб}} = 5$ – срединное отклонение времени обнаружения. ■

Продолжение следует

Защита подводной части корпусов морских судов от обрастания – важная техническая проблема. На подводной части корпуса судов, продолжительное время подвергающейся действию агрессивной морской среды, начинает поселяться ряд морских организмов и растений, которые называются обрастателями. Такое судно будет испытывать большее сопротивление трения при движении, чем судно, подводная часть которого обросла в меньшей степени или не обросла вовсе, вследствие чего произойдет снижение скорости, увеличение расхода топлива и большие экономические затраты.

Кроме этого, обрастание выводит из строя гидроакустические приборы, нарушает работу водоводов охлаждающих систем, забивая трубки конденсаторов, мешает работе судовых пожарных магистралей, автоматических гидрометеостанций и прочего оборудования, а некоторые виды обрастателей проникают в защитные покрытия, которые предназначены для уменьшения коррозии, тем самым нанося колоссальный вред корпусу [2].

Однако необходимо использовать те меры защиты от обрастания, которые предохраняют только поверхность корпуса судна, но не нарушают жизнь моря, а для этого необходимо хорошо знать взаимоотношения обрастателей с окружающей средой [1].

Факторы, влияющие на обрастание, можно разделить на две основные группы:

- ограничивающие способность прикрепления и роста на погруженной поверхности.
- определяющие количество личинок морских организмов, которые соприкасаются с погруженной поверхностью.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАСТАНИЕ: ФАКТОРЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ

*В.Р. Ефремов, техник отделения ЭУ и СУ ЭУ АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 15 04*

Количество личинок морских организмов, которые прикрепляются к погруженной поверхности судна, зависит от района плавания, времени года, скорости движения. Температура воды – основное условие распространения морских обрастателей. Высокая температура воды увеличивает скорость обрастания, поэтому его интенсивность повышается в тропических водах, причем в любое время года, во все сезоны, тогда как в умеренных широтах благоприятный период для их развития относительно короток и ограничен периодом высоких температур.

Однако стоит заметить, что большая часть морских обрастателей первое время после прикрепления к элементам конструкций судна очень сильно уязвима к температурным изменениям, и при повышении температуры воды на 20–30 °С их жизнедеятельность останавливается. Данная особенность может активно использоваться для борьбы с морскими обрастателями в судовых трубопроводах забортной воды.

Также еще одним из важнейших факторов, влияющих на обрастание, является скорость движения воды по отношению к корпусу судна. Было отмечено, что постоянно плавающие суда меньше подвергаются обрастанию в отличие от тех, что простаивают большую часть времени в порту. Стоит заметить, что у очень многих так называемых сидячих животных быстрый ток воды вызывает

ускорение темпа роста, что связано с улучшением их питания.

Свет играет большую роль в распространении обрастания. На глубинах до 3 м, в условиях достаточно хорошего освещения морские водоросли хорошо развиваются; морские животные, вызывающие обрастание, наоборот, предпочитают менее освещенные глубины [1]. Исходя из факторов, влияющих на обрастание, и с учетом количества разновидностей морских обрастателей в различных морских зонах можно составить теоретическую карту зона активности морских обрастателей (рис. 1).

Обрастатели распространены во всех водоемах и практически на всех глубинах, хотя количественно и качественно их состав различен и зависит от климатических условий. Больше всего их на небольших, до 60 м, глубинах, на глубинах свыше 80 м и вплоть до дна океана их значительно меньше, тем не менее сооружения, расположенные на дне моря, например, морские подводные кабели, покрываются обрастаниями на любых глубинах.

На интенсивность обрастания, а также видовой состав обрастателей влияет и удаленность от берега. Чем дальше от берега, тем меньше биомасса обрастания. Исключение из этого правила – обрастание у мелководья.

Кроме прибрежного обрастания имеется специфическое морское обрастание, оно встречается во всех океанах,

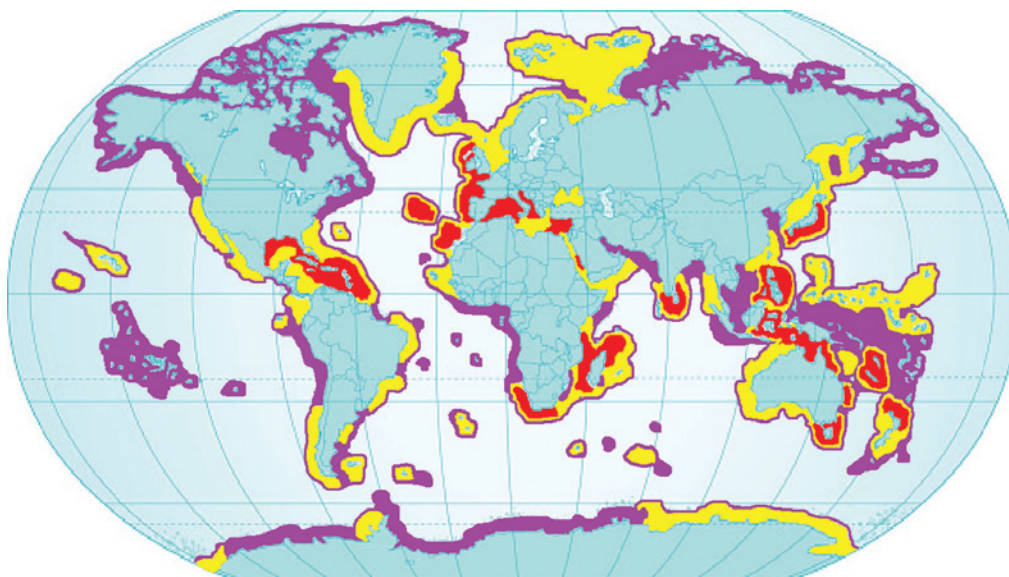


Рис. 1. Теоретическая карта распределения зон обрастателей

■ – зона высокой активности морских обрастателей, ■ – зона средней активности морских обрастателей, ■ – зона низкой активности морских обрастателей

кроме Северного Ледовитого. Развивается это обрастание крайне быстро, особенно в тропических водах, причем не зависит от удаления от берега. В его распределении главную роль играют течения, а также температура воды.

Соленость и загрязнение воды – еще одни важные факторы, влияющие на обрастание. В районах с большей соленостью встречаются наиболее крупные виды морских обрастателей. В пресных водах их количество сравнительно невелико.

Большинство наиболее распространенных форм обрастателей не переносят низкой солености, и обрастания конструкций не отмечается в верхней части устьев рек и других подобных местах. Однако есть и такие организмы, которые не могут жить в условиях чисто морской среды – обычно это водоросли и мшанки, покрытые густым налетом слизи. В солоноватых водах морские формы обычно растут медленнее, чем в пресных. По мере опреснения морской воды размеры каждого вида прогрессивно уменьшаются.

По мере загрязнения вод нефтяными продуктами наблюдается исчезновение ряда некоторых видов морских организмов [3].

В местах, защищенных от прибоя, обрастание интенсивнее, здесь преобладают животные обрастатели, моллюски.

Варианты защиты судов и стационарных сооружений от обрастания различны. В настоящее время для защиты конструкций судов и стационарных сооружений в основном используют ядовитые краски, в которых содержатся соединения ртути, мышьяка, меди и цинка. Срок действия яда, который входит в состав красок, различен. Скорость выделения яда из краски, на которую влияет много факторов и прежде всего температура окружающего воздуха, должна быть оптимизирована. Выгоднее красить судно летом и весной, чем осенью и зимой.

Ультразвуковая защита также находит свое применение на судах. Когда соблюдалась непрерывность работы ультразвуковой защиты, суда не обрастали,

при прекращении ее действия начиналось обрастание.

Эти способы используются для защиты поверхности, не подвергшейся обрастанию. Если поверхность покрыта обрастателями и этот слой нужно уничтожить, используют электрохимический способ.

Как видим, зная все факторы влияния на обрастание, какую нагрузку на корпус судна оно создаст в том или ином районе, можно уже в зависимости от этого предпринять меры защиты судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зевина Г. Б. Обрастания в морях СССР/ Под ред. Г. М. Беляева. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 214 с.
2. Рагг М. Защита судов от обрастания и коррозии/Пер. с немецкого. – Л.: Судпромгиз, 1960. – 428 с.
3. Морское обрастание и борьба с ним/Пер. с англ./Под ред. В. Н. Никитина; Н. И. Тарасова. – М.: Воениздат, 1957. – 501 с. ■

Активные разработки в области моделирования сохранения целостности штабеля пакетированного груза и развития схем укладки и крепления пришлось на вторую половину прошлого столетия. Данная проблема актуальна в связи с недостаточным уровнем практической проработанности. Разработкой теоретических и практических решений по обеспечению надежности транспортировки пакетированных пиломатериалов занимались отечественные и зарубежные группы ученых. Полученные результаты, заключающиеся в расчетных схемах и рекомендациях по укладке, креплению и пакетированию пиломатериалов, послужили основой для существующих нормативов, которые постоянно обновляются, но в настоящее время эксперты признают их отдаленность от практической реализации.

Уменьшение геометрических размеров элемента крепления – переход от крепления всего штабеля целиком к его поярусному креплению – позволяет проводить более эффективные и точные расчеты.

В отличие от крепления штабеля целиком при поярусном креплении в каждом ярусе происходит вращательное движение относительно центра тяжести и опорных элементов, импульс и момент которого напрямую зависят от степени неблагоприятных условий. Таким образом, пониженный вес яруса как отдельно закрепленной единицы не позволяет достигнуть высоких значений продольных сил, следовательно, сокращает опасность смещения пиломатериалов и потери устойчивости.

Для анализа устойчивости штабеля при поярусном креплении воспользуемся параметром устойчивости, согласно российским и международным требованиям – углом статической устойчивости, который обозначает степень способности груза к сохранению устойчивости от воздействия как внешних условий, так и внутренних [1, 2]. В геометрическом представлении данный угол, а это угол между горизонтальной плоскостью и на-

АНАЛИЗ УГЛОВ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ШТАБЕЛЯ ПРИ ПОЯРУСНОМ КРЕПЛЕНИИ

*Г.А. Пелехов, аспирант,
А.А. Хохлов, доцент, канд. техн. наук,
ФГБОУ ВО «ВГУВТ», г. Нижний Новгород,
контакт. тел. + 7 (902) 504 0508*

клоняемым основанием штабеля, всегда острый. Причем значение данного угла представляет собой критерий переходного процесса от состояния устойчивости до его потери, опрокидывания, соскальзывания или разрушения штабеля в любой его форме.

Опрокидывание, соскальзывание или разрушение штабеля и далее будем принимать как процесс движения штабеля вокруг оси опрокидывания, являющейся прямой, вокруг которой осуществляется поворот всех точек вертикальных плоскостей штабеля на угол, после которого движение не является обратимым. В данном случае, говоря о вращательном движении штабеля относительно определенной оси, надо понимать, что устойчивость обеспечивается продольной плоскостью, перпендикулярной плоскости вращения, т. е. рассмотрение вопроса актуально как для поперечного, так и для продольного типа устойчивости. В данном сравнительном анализе будет рассмотрен поперечный тип устойчивости.

Движение вокруг оси с вращением можно описать следующим уравнением:

$$M_{\text{опр}} \geq M_{\text{стаб}}, \quad (1)$$

где $M_{\text{опр}}$ – опрокидывающий момент; $M_{\text{стаб}}$ – момент сил, стремящихся вернуть систему в положение равновесия.

Поскольку рассматриваемый груз структурообразующий и при этом составной, его следует рассматривать, используя те же расчетные зависимости, что и для нестандартизирован-

ных грузов. Последние, согласно нормативным документам, представляют собой дискретные системы [3], для которых необходимо оценить весь комплекс воздействий, могущих привести к переходу системы из статического состояния в динамическое. Палубный груз не должен превышать максимально допустимых нагрузок на крышки трюмов или палубу во время всей перевозки [4]. Необходимо отметить, что один и тот же груз, уложенный и закрепленный различными способами, образует штабеля, обладающие различными свойствами, в том числе разную степень устойчивости в отношении смещения в различных направлениях действия внешних сил. В контексте данной работы будут рассмотрены два идентичных по геометрической форме и составу перевозимых материалов груза, отличающихся по системе крепления – для одной из частей штабеля будет использовано поярусное крепление.

Как отмечалось ранее, критерием надежности крепления груза и его способности противостоять вращательному движению является параметр, численно равный углу статической устойчивости структуры χ . Было отмечено также, что устойчивость груза во многом зависит от способа укладки и крепления груза [3, 5]. Поэтому от способа формирования штабеля и его крепления зависят устойчивость груза, а также его целостность. То есть какого бы характера и формы не был груз, повысить его устойчивость можно за счет подбора соответствующей схемы крепления, причем исходя не из стандартизированных методик, а учитывая, что груз – это динамическая система, находящаяся под постоянным воздействием.

Второй параметр для оценки критерия несмещаемости, а также для расчета количества крепления – это угол динамической устойчивости при существующем угле статической устойчивости. В дальнейшем определение количества крепления будет определяться нагрузкой, возникающей от превышения угла динамического крена над углом динамической устойчивости груза [1, 3].

Определение углов динамической устойчивости Θ базируется на взаимосвязи двух геометрических параметров, характеризующих положение груза в данный момент времени: справочной величине угла статической устойчивости χ , зависящей от свойств груза, и характеристических параметров транспортировки – свойств устойчивости самого судна, схемы расположения груза, ветрового и волнового воздействия на сам груз и на систему судно-груз в целом.

Для определения углов статической устойчивости воспользуемся справочными данными [1]. Эта информация о свойствах груза предоставляется также до начала погрузки [6]. Данные углов статической устойчивости занесем в табл. 1.

Таблица 1

Значения углов статической устойчивости при продольной укладке

Высота в ярусах	Значение угла статической устойчивости χ , град.	Коэффициент проницаемости груза k
1-й ярус	23	0,25
2-й ярус	16	0,25
3-й ярус	11	0,25

Для определения углов динамической устойчивости будем использовать графики углов динамической устойчивости, а также воспользуемся исходными данными для т/х «Мирный» [1], а именно значения-

ми метацентрической высоты $h_0 = 0,18$ м и периода качки $T = 23,76$ с. Полученные данные занесем в табл. 2.

Таблица 2

Значения углов статической и динамической устойчивости

Значение угла статической устойчивости χ , град.	Значение угла динамической устойчивости Θ , град.	Период качки T , с
23	21,1	23,76
16	15,3	23,76
11	10,7	23,76

Прежде чем выполнить сравнительный анализ углов статической и динамической устойчивости, примем следующее допущение: используем поярусное крепление [7]. Это означает, что каждый погруженный ярус будет закреплен индивидуально до погрузки следующего, таким образом, будет выполняться требование к погрузке пакетов на палубе: поверхность для погрузки должна быть жесткой, ровной, позволяющей укладывать пакеты плотно по всей их длине. Имея закрепленную, жесткую и неподвижную поверхность для погрузки каждого последующего яруса, значение угла статической устойчивости для второго и третьего ярусов будем принимать таким же, как и для первого, т. е. 23° за счет стабильности нижележащего яруса.

Все сравниваемые данные сведем в табл. 3, при этом примем следующее:

- случай 1 – для штабеля высотой в 3 яруса;
- случай 2 – для штабеля высотой в 3 яруса с поярусным креплением (2,1–2,3 – соответственно для каждого яруса).

Таблица 3

Значения углов статической χ и динамической Θ устойчивости для штабеля высотой в 3 яруса

Случай	χ , град.	Θ , град.
1	11	10,7
2.1	23	21,1
2.2	23	21,1
2.3	23	21,1

Из табл. 3 видно, что параметры, определяющие устойчивость штабеля, такие как углы статической и динамической устойчивости, при поярусном креплении значительно выше, чем при креплении штабеля целиком.

Таким образом, подтверждается тезис о том, что штабель пакетированных пиломатериалов при поярусном креплении более устойчив вне зависимости от условий транспортировки, района нахождения судна и его технических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила безопасности морской перевозки лесных грузов, РД 31.11.21.01–97. СПб., ЦНИИМФ, 1997.
2. Code of Safe Practice for ships carrying timber deck cargoes 2011. Resolution A.1048 (27) adopted on 30 November 2011 (Agenda item 9). International Maritime Organisation, 2011.
3. Правила морской перевозки грузов, (с изменениями на 6 июля 2012 года) РД 31.11.21.16–2003. СПб., ЦНИИМФ, 2003.
4. International Convention of Load Line. 4th Edition. IMO. 1966.
5. CSS CODE. Code of safe practice for cargo stowage and securing. International Maritime Organisation, 2011.
6. International Convention for the Safety of Life at Sea, IMO, 1974.
7. Пелехов Г. А. Проблемы расчетных моделей крепления пакетированных пиломатериалов при перевозке на открытой палубе судов // Морской вестник. – 2021. – № 4 (80). ■

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что в 2022 г. исполняется 150 лет со дня основания Всероссийского общества спасения на водах (ВОСВОД), одной из крупнейших и старейших общественных профессиональных организаций России. Столь пристальное внимание к вопросам спасения на водах во второй половине XIX в. объясняется тем, что ежегодно терпело бедствие свыше 6,5 тысячи судов с гибелью людей. Началом истории сегодняшнего ВОСВОД принято считать 7 (19) марта 1872 г., когда состоялось первое собрание «Общества подаяния помощи при кораблекрушениях» (далее – Общество), созданное по инициативе моряков Кронштадта. Председателем Главного правления Общества на первом собрании был избран выдающийся мореплаватель и государственный деятель России вице-адмирал Константин Николаевич Посьет (рис. 1). Его именем назван залив в заливе Петра Великого, мыс в Карском море, остров в Баренцевом море. Устав Общества был утвержден 3 июля 1871 г. императором Александром II. В том же году были созданы на местах и окружные общества. К. Н. Посьет руководил деятельностью Общества спасения на водах в течение 28 лет. Он добился у руководства Русской Православной Церкви разрешения на сбор пожертвованных на Общество в День Св. Николая Чудотворца (в XIX в. 9 мая), в которых участвовали сам, Царская фамилия, министры двора и простолюдины. На пожертвования была собрана баснословная по тем временам сумма – около миллиона рублей. На эти средства были построены здание Правления Общества (рис. 2), склада спасательных средств, часовня Св. Александра Невского. В здании Правления Общества (Санкт-Петербург, Садовая, 50б) расположились единственный в России музей спасательного дела, редакция журнала «Спасание на водах», библиотека, зал заседаний, склады для хранения спасательного имущества, регулярно показываемого всем желающим. Только за первые три года своего существования Общество построило 179 спасательных станций и постов. Профилактическая работа постепенно становилась одной из важнейших задач Общества, что нашло свое отражение в новом его Уставе, утвержденном в 1894 г. С целью привлечения внимания населения к вопросу спасательного дела Общество добилося специального праздника. Указом императора, начиная в 1896 г., день 9 мая

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ЖИЗНИ ЛЮДЕЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ К 150-ЛЕТИЮ ВОСВОД РОССИИ

***В.Н. Илюхин**, д-р техн. наук, проф., руководитель секции
«Поисково-спасательная техника и технологии»
РосНТО им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011, cpntokrylov@mail.ru*

был объявлен Днем Общества спасения на водах. По настоянию Общества Священный Синод распорядился, чтобы во время туманов звонили колокола всех церквей, расположенных на морских берегах.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ

Общество активно вело просветительскую и практическую работу, издавая в 1891–1917 гг. ежемесячный журнал «Спасание на водах». Территориальное развитие Общества привело к созданию в 1872–1914 гг. 97 округов и 46 отделов, объединивших 8200 членов по всей стране. К 1899 г. Общество насчитывало свыше 10 тысяч действительных членов. Ими было развернуто 57 лодочных морских спасательных станций, 29 морских ракетных спасательных станций, 77 лодочных речных станций, 168 полустанций, 10 маячных огней. Общества содержало 88 переправ. К этому времени оно спасло жизнь 11 020 человек и непосредственно предотвратило 931 крушение судов. До 1914 г. смертность на воде во всей Российской империи, включая Польшу и Финляндию, составляла 8–9 тысяч человек в год.



Рис. 1. Константин Николаевич Посьет (1819-1899) – первый председатель Главного Правления «Общество спасения на водах»



Рис. 2. Здание Центрального совета «Общества спасения на водах». Санкт-Петербург, Садовая улица, 50б

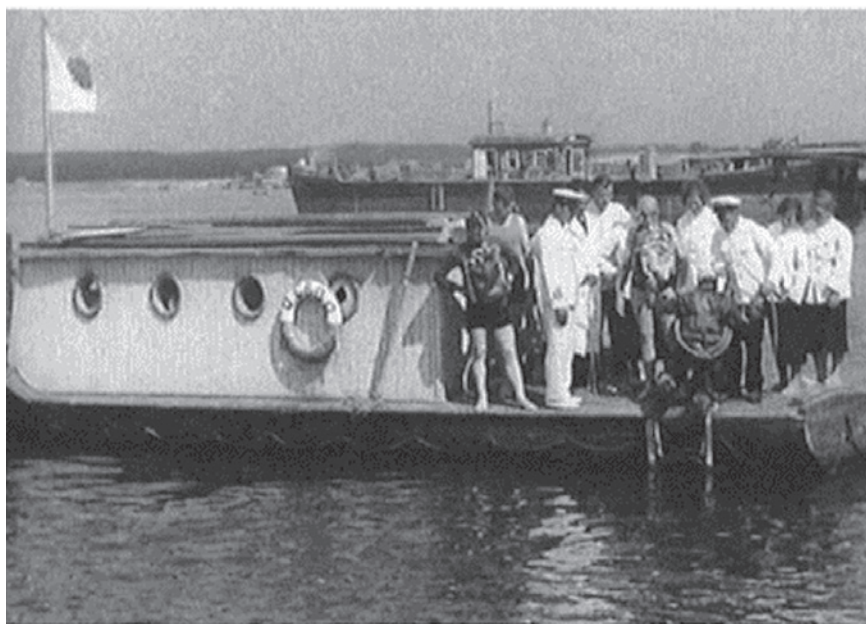


Рис. 3. Учебные водолазные спуски Союза ОСВОД, конец 1930-х гг.

Российское Общество спасания на водах пользовалось признанием моряков всего мира. В его рядах было много известных мореплавателей, ученых, писателей, художников. Его активным членом был художник И. К. Айвазовский, вдохновенно выразивший в своих работах мужество человека в борьбе с водной стихией. Он подарил Обществу 10 своих картин.

Российское Общество участвовало во многих международных выставках и не раз получало высокие награды. Уже в 1878 г. на Брюссельской выставке спасательной техники демонстрировались спасательные средства, доставлявшие спасательный линь до 500 м, спасательная санная лодка на полозьях и другое зимнее оборудование для спасательных работ, за что русский отдел получил медаль 1-го класса. В 1904 г. на Международной выставке спасания на водах и на суше Красного Креста и гигиены в Париже Обществу была присуждена высшая награда – Гран-при.

В 1918 г. решением СНК РСФСР общество было передано в ведение Главного управления водного транспорта.

В 1925 г. СНК СССР учредил ЦК Общества спасания на водах (ОСНАВ) при Народном комиссариате путей сообщения. В 1928 г. состоялся 1-й съезд ОСНАВ, на котором был утвержден устав и избран председателем М. И. Калинин, который за 15 лет своей работы в Обществе активно содействовал решению многих насущных вопросов охраны жизни людей на водах. К этому времени в стране имелось 65 спасательных станций и 42 полустанций, 150 постов 1-го разряда и 32 поста 2-го разряда, 2 маяка,

600 спасательных лодок, около 500 человек штатного состава. Основную же работу выполняли спасатели-добровольцы. В 1928 г. количество членов Общества превысило 12 000 человек, 100 его отделений работали по всему СССР.

В 1931 г. ОСНАВ переименован в «Союз обществ содействия развитию водного транспорта и охраны жизни людей на водных путях СССР» (Союз ОСВОД). ОСВОД в целях изыскания средств для развития своей деятельности стал арендовать и эксплуатировать прокатно-лодочные станции, купальни, пляжи, издавать листовки и брошюры, создавать мелкие предприятия. ОСВОД издавал журнал «Шторм», в котором публиковались материалы по безопасности людей на водах. К 1933 г. ОСВОД имел 154 спасательные станции, из которых 117 круглогодичных, и около 60 постов, в его рядах насчитывалось более миллиона человек. Союз ОСВОД уже к середине 1930-х гг. создал в своей структуре ряд водолазных школ и начал выпускать сотни гражданских легководолазов (рис. 3). Всего за несколько лет водолазы вошли в штат спасательных станций ОСВОД как их неотъемлемая часть, введя таким образом водолазов в региональные штаты спасательных станций, имея собственные водолазные курсы [1].

Благодаря энергичным действиям спасателей-добровольцев только в 1931 г. было спасено свыше 3370 человек. В 1932 г. в СССР функционировали 154 спасательные станции Общества, 117 из них работали круглый год. На 500 спасательных постах работали около полумиллиона человек.

Во время Великой Отечественной войны ОСВОД готовил легководолазов и активно участвовал в разгрузке потопленных немцами судов и в судоподъемных работах. В 1943 г. он был включен в состав Наркомата речного флота и до конца войны как самостоятельная структура уже не существовал.

С 1948 г. спасательная служба находилась в ведении ДОСФЛОТА, с 1956 г. – ДОСААФ.

Постановлением Совета Министров РСФСР № 94 от 11.02.1970 г. в РСФСР создан ОСВОД, который к 1974 г. объединил 73 областных, краевых, автономно-республиканских и городских (Москвы и Ленинграда) совета (62 000 первичных организаций, 10 миллионов членов, в том числе 2,8 миллиона юных осводовцев). ОСВОД РСФСР имел рекламное-информационное бюро, производственные предприятия, выпускающие спасательные средства, Центральную лабораторию по разработке новых видов спасательной техники, учебный центр, осуществляющий методическое руководство деятельностью 72 школ и пунктов специальной подготовки водолазов-спасателей, инструкторов по плаванию и др. Предприятия Обществе стали в стране головными по выпуску спасательных кругов и жилетов. Созданная в то же время Главная навигационно-техническая инспекция по маломерному флоту Всероссийского общества спасания на водах создала всю необходимую нормативную базу для аттестации и контроля за безопасностью судовождения маломерного флота, которую позднее передала во вновь созданную Государственную инспекцию по маломерным судам.

В 1987 г. ОСВОД РСФСР был принят в Международную федерацию спасания на водах (ФИС).

В 1990–2003 гг. Общество приостановило свою деятельность.

ВОЗРОЖДЕНИЕ ВОСВОД

В январе 2001 г. была проведена Всероссийская конференция по безопасности на водах, а в конце января 2004 г. – VIII съезд Общества спасания на водах. На нем была принята «Концепция восстановления и развития Общероссийской общественной организации «Всероссийское общество спасания на водах (ВОСВОД)». В развитие поставленных задач [2] зарегистрирована Общероссийская общественная организация «Всероссийское общество спасания на водах» (ВОСВОД). Председателем ЦС ВОСВОД России на проведенном в январе 2004 г. съезде избран генерал-полковник внутренней служ-

Структура взаимодействия учреждений и организаций по обеспечению безопасности людей на воде



Рис. 4. ВОСВОД в общей структуре организаций по обеспечению безопасности на водных объектах Санкт-Петербурга

бы, заместитель министра внутренних дел П. В. Нелезин. В 2005 г. Общество стало членом Международной федерации спасания жизни (ILS), организовав работу региональных отделений. Основными задачами Общества являются:

- обеспечение взаимодействия спасательных служб;
- спасание и оказание помощи пострадавшим на водах;
- организация подводно-технических работ;
- участие в разработке федеральных и региональных программ;
- решение вопросов экологической безопасности;
- общественный контроль за использованием водными объектами;
- оборудование рекреационных зон на водоохраных территориях;
- активная разъяснительная работа среди населения и особенно среди детей по предотвращению несчастных случаев на воде.

Деятельность ВОСВОД особенно важна в российских условиях, где около 40 тысяч километров морского побережья, более двух с половиной миллионов больших и малых рек, без малого два миллиона озер, водохранилищ и прудов. Эффективное решение задач ВОСВОД возможно только при тесном взаимодействии государственных и общественных организаций, направленного на обеспечение прав граждан по охране здоровья и безопасности в регионах (рис. 4). Показана схема взаимодействия государственных учреждений по обеспечению безопасности людей на воде в Санкт-Петербурге.

В настоящее время ВОСВОД имеет свои отделения в 80 регионах России, в них работает более 30 тысяч человек. В 36 российских регионах действуют школы подготовки спасателей ВОСВОД, в 41 регионе работают водно-моторные клубы. В стране функционируют 29 мобильных групп подводно-технических работ, а спасательные станции и посты осуществляют постоянное дежурство в 70 регионах страны.

В составе ВОСВОД действуют нештатные аварийно-спасательные формирования «Аварийно-спасательная служба «ВОСВОД» (АСС ВОСВОД), которые ежегодно спасают на акваториях 30–40 человек.

КЛЮЧЕВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Ключевым направлением развития ВОСВОД является оказание помощи и всемерное содействие Управлению безопасности людей на водных объектах МЧС России и другим государственным службам, осуществляющим мероприятия по обеспечению безопасности людей на водных объектах, созданию общественных спасательных станций и постов в местах массового и доступного отдыха населения на воде и обучению населения плаванию, особенно детей, приемам спасания, кардинальному сокращению и предотвращению их гибели на водоемах страны. Актуальность этой задачи обусловлена высоким уровнем смертности в местах отдыха на воде, который на порядок превышает уровень смертности при авариях судов на море. Средний уровень гибели лю-

дей на водных объектах по Российской Федерации в 2019 г. составил 2,07 человека на 100 тысяч человек населения (в 2018 г. – 2,39 человека) Средний показатель гибели людей на водных объектах Санкт-Петербурга на 100 тысяч населения составляет 1,8. Это значительно превышает показатели многих зарубежных стран, так, в Германии он равен 0,4–0,5; в Италии – 0,6–0,9; в Нидерландах – 0,4–0,5 [3]. Ежегодно на водных акваториях России гибнут несколько тысяч человек (рис. 5), в том числе и дети [4].

Для обеспечения безопасности в местах массового отдыха населения на водных объектах сил и средств аварийно-спасательных формирований МЧС России недостаточно. Имеющееся количество спасательных станций и их расположение не в полной мере отвечают современным требованиям.

Поручением Президента Российской Федерации от 22.02.2012 г. № Пр-447 [5] предписано в возможно короткие сроки создать условия для безопасного и доступного отдыха граждан РФ на водоемах, увеличить количество мест их массового отдыха на воде, организовать общественные спасательные посты в местах купания, а также обучение и переподготовку спасателей-общественников, обеспечивающих безопасность граждан. В соответствии с методическими рекомендациями, подготовленными МЧС России, в субъектах РФ с учетом региональных особенностей и источников финансирования разработаны региональные программы по созданию общественных спасательных постов

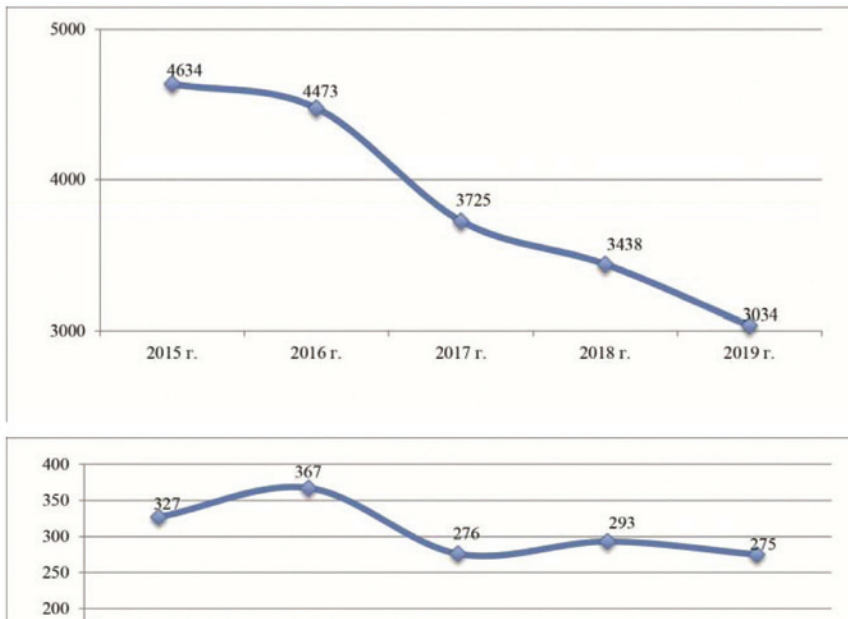


Рис. 5. Данные о гибели людей на водных объектах РФ, в том числе и детей

в местах массового отдыха населения и обучению населения, прежде всего детей, плаванию и приемам спасения на воде, обеспечения спасательных постов наглядной агитацией по профилактике и предупреждению несчастных случаев на воде и пропаганде здорового образа жизни. В результате реализации региональных программ совершенствуется сеть общественных спасательных постов на водных объектах, организовано обучение населения, прежде всего детей, плаванию и приемам спасения на воде, а также предупреждения несчастных случаев на воде и пропаганде здорового образа жизни. В результате реализации мероприятий региональных программ ожидается снижение гибели людей на водных объектах в регионах.

Необходимо отметить, что существенным фактором эффективной реализации региональных программ является требование по созданию общественных спасательных постов. Разработанный стандарт организации СТО ВОСВОД 032.02.1–2016 «Объекты ВОСВОД водно-спасательные. Общие требования проектирования и размещения» [6], а также национальный стандарт ГОСТ Р 58737–2019 «Места отдыха на водных объектах. Общие положения» [7] способствуют стандартизации и унификации требований к общественному спасательному посту.

ВОСВОД во взаимодействии с другими аварийно-спасательными формированиями осуществляет комплекс мер по обеспечению безопасности на воде на пляжах, мониторинг безопасности на воде при проведении массовых мероприятий (рис. 6).

Вместе с тем не во всех субъектах РФ в должной мере внедрены региональные программы «Обеспечение безопасности и охраны жизни людей на водных объектах, создание общественных спасательных постов в местах массового отдыха населения и обучение населения плаванию и приемам спасения на воде». В настоящее время на каждую спасательную станцию в среднем приходится 40,5 кв. км водной акватории. В связи с этим остро стоит необходимость строительства дополнительных станций и модернизации спасательной инфраструктуры в местах массового отдыха населения.

В рамках совместной деятельности ВОСВОД и органов исполнительной и законодательной власти планируется:

- внедрение и модернизация новых образцов спасательных судов, робототехнических средств, средств мониторинга, экипировки, снаряжения спасателей; совершенствование учебно-материальной базы в целях подготовки работников аварийно-спасательных подразделений;
- развитие инфраструктуры размещения и базирования сил и средств путем строительства новых спасательных станций, в том числе на базе плавучих дебаркадеров; модернизации и реконструкции действующих спасательных станций на водных объектах;
- реконструкция действующих спасательных станций.

Предложения по совершенствованию системы охраны жизни людей на водных объектах

Нормативно-правовая база, структура, материально-техническая оснащенность системы обеспечения безопасности на водных объектах ряда регионов не всегда соответствуют современным требованиям и перспективам развития.

Главная причина такого состояния дел заключена в недостаточной эффективности существующей системы предупреждения гибели людей на воде и особенно предотвращения купания граждан в непредназначенных для этого местах и на необорудованных пляжах. Учитывая уровень развития отдельных составляющих системы обеспечения безопасности на водных объектах регионов и существующие проблемы в этой области, динамику гибели людей на водных объектах необходима более полная реализации комплексного подхода к их развитию на основе системных решений в организационной, технической и нор-



Рис. 6. Спасательные работы ПСС Санкт-Петербурга на Финском заливе

мативно-правовой областях. Действующую нормативно-правовую базу необходимо актуализировать [8–10]. Действующие законодательные акты, которые частично регулируют общественные отношения в области обеспечения безопасности людей на водных объектах, остро нуждаются в систематизации и модернизации, исходя из приоритетных направлений обеспечения безопасности населения РФ. В этой связи необходимо разработать и принять соответствующий законодательный акт.

Вместе с тем в проекте федерального закона «О безопасности людей на водных объектах» при обеспечении безопасности людей на водных объектах предусмотрена только координация деятельности системы обеспечения безопасности людей на водных объектах, осуществляемой федеральным органом исполнительной власти с функциями по выработке и реализации государственной политики, нормативно-правовому регулированию, а также по надзору и контролю в области обеспечения безопасности людей на водных объектах. Этого недостаточно. Необходимо включить в проект данного федерального закона положение о том, что организация и порядок деятельности системы обеспечения безопасности людей на водных объектах определяются Правительством РФ. В соответствующем постановлении следует определить:

- цели, принципы и задачи этой системы;
- требования к ней;
- структуру и состав системы;
- порядок планирования мероприятий по обеспечению безопасности людей на водных объектах;
- порядок и особенности взаимодействия структурных элементов системы обеспечения безопасности людей на водных объектах (Управление по безопасности на водных объектах МЧС России, ВОСВОД, ПСС, АСС, Государственная инспекция по маломерным судам и др.) в различные периоды функционирования водных объектов;

- порядок проведения комплексных учений по обеспечению безопасности людей на водных объектах;
- порядок привлечения дополнительных сил и средств единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций для осуществления мероприятий по обеспечению безопасности людей на водных объектах и другие вопросы.

В заключение следует отметить:

1. Всероссийское общество спасания на водах (ВОСВОД) за свою 150-летнюю историю сыграло большую роль в развитии системы обеспечения безопасности и охраны жизни людей на водных объектах страны. В современных условиях ВОСВОД продолжает выполнять приоритетную задачу по охране жизни людей на ключевом направлении – на внутренних водных объектах страны в тесном взаимодействии с аварийно-спасательными формированиями министерств и организаций.

2. Действующая нормативная правовая база, которые регулирует общественные отношения в области обеспечения безопасности людей на водных объектах, нуждается в актуализации на основе приоритетных направлений ее развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Боровиков П. А.* Водолазное дело России. С конца 1930-х годов и до наших дней. – М.: Нептун, 2017. – С. 25–27.
2. Указ Президента РФ «О совершенствовании Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» от 28 августа 2003 года № 991. – [Электронный ресурс]: URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19901/> (Дата обращения 05.04.2022).
3. *Аришина О. И., Данчук Ю. Л., Илюхин В. Н.* О необходимости Концепции развития системы обеспечения безопасности на водных объектах Санкт-Петербурга // *Морской вестник.* – 2019. – № 4 (72). – С. 115–120.
4. Статистические данные о происшествиях и погибших на водных объектах. – [[https://poj01.ru/obespechenie-bezopasnosti-1judej-na-vodnyh-](https://poj01.ru/obespechenie-bezopasnosti-1judej-na-vodnyh-objektah/)

[objektah/Электронный ресурс](#)]: URL: (Дата обращения 05.04.2022)

5. Поручение Президента Российской Федерации от 22.02.2012 г. № Пр-447 РФ «По созданию общественных спасательных постов в местах массового отдыха населения и обучения населения, прежде всего детей, плаванию и приемам спасания на воде, обеспечение спасательных постов наглядной агитацией по профилактике и предупреждению несчастных случаев на воде и пропаганда здорового образа жизни». – [Электронный ресурс]: URL: <http://vosvod.org.ru/about/deyatelnost/> (Дата обращения 05.04.2022).
7. ГОСТ Р 58737–2019 «Места отдыха на водных объектах. Общие положения». – [Электронный ресурс]: URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200170111> (Дата обращения 05.04.2022).
6. Стандарт СТО ВОСВОД 032.02.1–2016 «Объекты ВОСВОД Водно-спасательные. Общие требования проектирования и размещения». – [Электронный ресурс]: URL: <https://70.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/gosudarstvennaya-inspekciya-po-malomernym-sudam/metodicheskie-rekomendacii/> (Дата обращения 05.04.2022).
8. Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» – [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/ (Дата обращения 05.04.2022).
9. Стратегия социально-экономического развития Санкт-Петербурга на период до 2035 принята Законодательным собранием Санкт-Петербурга и утверждена Законом Санкт-Петербурга от 19.12.2018 № 771–164. – [Электронный ресурс]: URL: https://www.gov.spb.ru/gov/otrasl/c_econom/strategiya-ser-2035/ (Дата обращения 05.04.2022).
10. Приказ МЧС России от 22 июля 2013 г. № 480 «Об утверждении Положения о функциональной подсистеме координации деятельности по поиску и спасанию людей во внутренних водах и территориальном море Российской Федерации единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». – [Электронный ресурс]: URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_152618/ (Дата обращения 05.04.2022). ■

ПЕТР I - ОТЕЦ ФЛОТА РОССИЙСКОГО

АО «Адмиралтейские верфи», Отдел по связям с общественностью,
контакт. тел. (812) 405 2544

Петр I родился 9 июня 1672 г. Личность его во все времена вызывала у историков споры и разногласия. Кто-то называл его героем-преобразователем, кто-то говорил о том, что при его правлении Россия потеряла самобытность. В каждом из высказываний есть доля истины – реформы правителя действительно кардинально повлияли на перерождение страны. Никогда и никому до Петра I не удавалось за столь короткий исторический период достичь таких замечательных успехов во всех сферах жизни и деятельности государства.

В ИНТЕРЕСАХ СТРАНЫ

Право правления Россией 10-летний Петр унаследовал вместе со своим братом Иваном в 1682 г. С 1696 г., после смерти Ивана, Петр начал единолично управлять государством. В 1697–1698 гг. он в составе «Великого посольства» под видом урядника Петра Михайлова отправился в Европу познавать мир.

В 1700 г. началась Северная война со Швецией, которая продлилась до 1721 г. Стремясь к победе и желая сделать Россию передовым европейским государством, Петр I неслыханными по тем временам темпами развивал военное дело, строил крепости-города, создавал собственную базу кораблестроения, науки, культуры, искусства. Как великий государственный деятель Петр понимал, что без выхода к морю не может быть сильной страны, а без мощного флота – независимой России. Его цитата из Морского устава 1720 г. гласит: «Всякий правитель, который лишь одно войско сухопутное имеет – одну руку имеет. А кто и флот имеет, обе руки имеет».

«ЗДЕСЬ БУДЕТ ГОРОД ЗАЛОЖЕН...»

Везде, где бы ни был Петр I, его прежде всего интересовали корабли и судостроение. Он прошел путь от управления судном до руководства объединенным флотом передовых морских держав того времени – России, Англии, Голландии и Дании. От рядового матроса и судового плотника до адмирала и главного конструктора кораблей.

За 10 лет Северной войны Петр I сумел разгромить опаснейшего для России врага, завоевал на огромном протяжении Балтийское побережье и заставил Европу признать эти завоевания. Нева от истока до устья вновь была в руках русских. Но, чтобы «новою твердой стать при море», было недостаточно занять крепости Ноте-



Петр I за работой

бург (Орешек) и Ниеншанц (Шлотбург-Замок-город). Лично обследовав на лодках невыездные острова, Петр нашел надежный рубеж в дельте Невы, на небольшом Заячьем острове.

Здесь 16 мая 1703 г. он основал новую крепость, назвав ее Санкт-Питер-бурх – крепость Св. Петра. Уже к осени этого года на древесных валах было установлено более двадцати орудий.

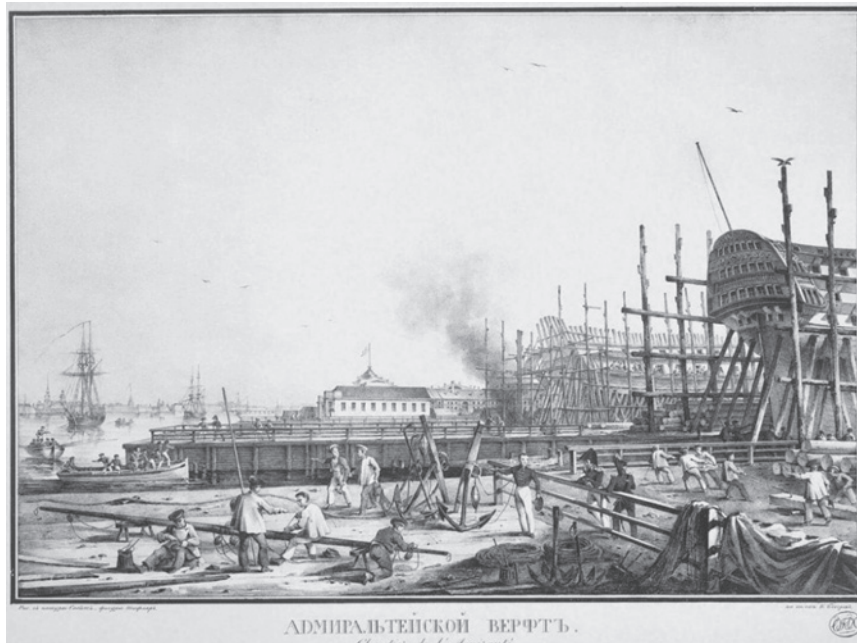
Будущее города с самого начала виделось Петру I величественным

и блистательным. И именно с Петербургом он связывал создание мощного флота, понимая, что только с ним Россия может победить врагов.

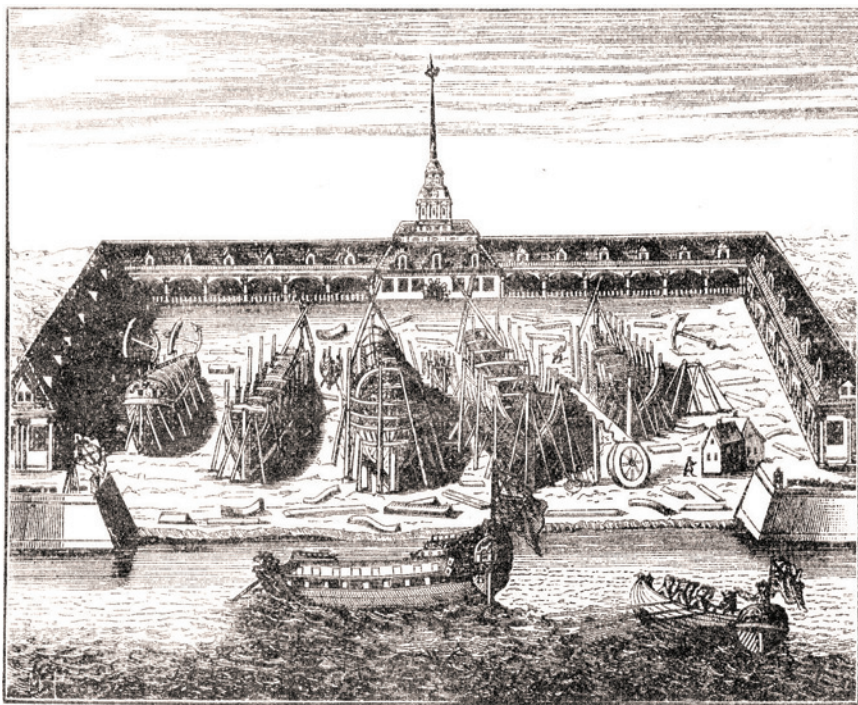
С 1712 г. Петербург официально становится столицей России. Сюда из Москвы переезжает царский двор, а чуть позже и правительственный Сенат.

РОЖДЕНИЕ АДМИРАЛТЕЙСКОЙ ВЕРФИ

Петр лично составил чертеж-проект Адмиралтейства, на котором на-



Главное Адмиралтейство, около 1718 г.



Главное Адмиралтейство

писал: «Сей верфь государственными работниками или подрядом, как лучше, построить по сему. Для жилья строить мазанки, кузницы обе кирпичные, амбары и сараи из брусьев, но обшить досками. Эллингов построить 17, из них пять шириной 60, три по 45 и семь по 25 футов».

Адмиралтейская верфь была заложена 5 ноября 1704 г. Уже через год, осенью 1705 г. первое петербургское судостроительное предприятие имело 10 эллингов и стапелей, на которых можно было строить суда длиной до 25 м. Здесь же располагалась крепость с пятью бастионами, перекрывавшими огнем речной фарватер. В 1706 г. на воду были спущены первенцы Адмиралтейской верфи – 18-пушечный прам и яхта «Надежда». Адмиралтейство стало центром городской застройки: близ него поставили 100 изб для морских офицеров, а на правом берегу, на Березовом острове, был построен домик Петра из тесаных бревен, раскрашенных «под кирпич».

В 1721 г. Петр принял титул «Отца Отечества императора Всероссийского Петра Великого». Петр I был талантливым реформатором, профессиональным кораблестроителем, который постоянно совершенствовал свое мастерство и старался перенять все новое и лучшее. Он был проектировщиком и строителем многих судов, которые стали называть «государевыми кораблями». Именно Петр создал первую в мире систему серийного строительства кораблей по типовому проекту, ввел элементы стандартизации в судостроение, значительно опередив техническую мысль своего времени.

Многочисленные технические изобретения Петра, которые он успешно применял при строительстве адмиралтейских судов, появились

на Западе только спустя десятки лет. И не случайно Петр I был избран Почетным членом Парижской академии наук.

НЕОЦЕНИМЫЙ ВКЛАД

При жизни Петра Великого на Адмиралтейских верфях были построены 23 корабля, 2 бомбардирских корабля, 4 фрегата, 1 подводная лодка («погаенное судно» Ефима Никонова, получившее повреждение при спуске на воду в 1724 г.), 3 шнявы, 2 гукора, 8 прамов и полупрамов, 7 яхт, 10 бригантин, около 200 галер, полугалер и скамшавей.

Под псевдонимом Петр Михайлов Петр I сам участвовал в строительстве двух десятков судов, половина из них была построена под его руководством, в том числе:

- 10 бригантин, построенных в 1704 г.
- 16-пушечная шнява «Лизет», спущенная на воду в 1708 г. в Главном Адмиралтействе.
- 54-пушечный линейный корабль «Полтава», названный в честь Полтавской победы над шведами. «Государев корабль» – «Полтава» – был спроектирован самим



Линейный корабль «Полтава»



Галера

Петром I, спущен на воду 15 июня 1712 г. Он имел улучшенные мореходные и маневренные качества, осадка соответствовала остальным размерениям. Корабль участвовал в Северной войне. Находился в строю до 1725 г., разобран в 1732 г.;

- 64-пушечный корабль «Ингерманланд», спущенный на воду 1 мая 1715 г. Строитель – Р. Козенц. Проект этого флагманского корабля Петр I считал вершиной своего творчества. Корабль отличался огневой мощью, скоростью, прекрасной мореходностью, прочностью и пропорциональностью корпуса, совершенством парусного вооружения (впервые в русском флоте имел три яруса парусов). Флагманский корабль Петра участвовал в Северной войне. Специально об «Ингерманланде» Петр подписал указ: «Хранить (корабль) для памяти». С 1725 г. «Ингерманланд» в море не выходил. Разобран в Кронштадте после 1739 г.;
- 90-пушечный корабль «Лесное», спущенный на воду 27 июля 1715 г. Строитель – П. Михайлов. Назван в честь победы над шведами у деревни Лесная под Могилевом 28 сентября 1708 г. Участвовал в Северной войне. В 1723 г. командиром «Лесного» был Витус Беринг. Находился в строю до 1728 г. Разобран в 1741 г.;
- 100-пушечный «Петр I и П», последний «государев корабль», спроектированный и заложенный Петром 29 июля 1723 г. Достраивался группой корабельных мастеров во главе с Ф. Скляевым. Корабль участвовал в боевых действиях под Данцигом в 1734 г. В 1736 г.

в корабль ударила молния, после пожара и ремонта в море он больше не выходил. 19 августа 1744 г. Адмиралтейств-коллегия издала указ о сохранении корабля в память о Петре I. Он был введен в специально построенный плавучий док, однако по ветхости разобран в 1752 г.

ПРОБРАЗ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ

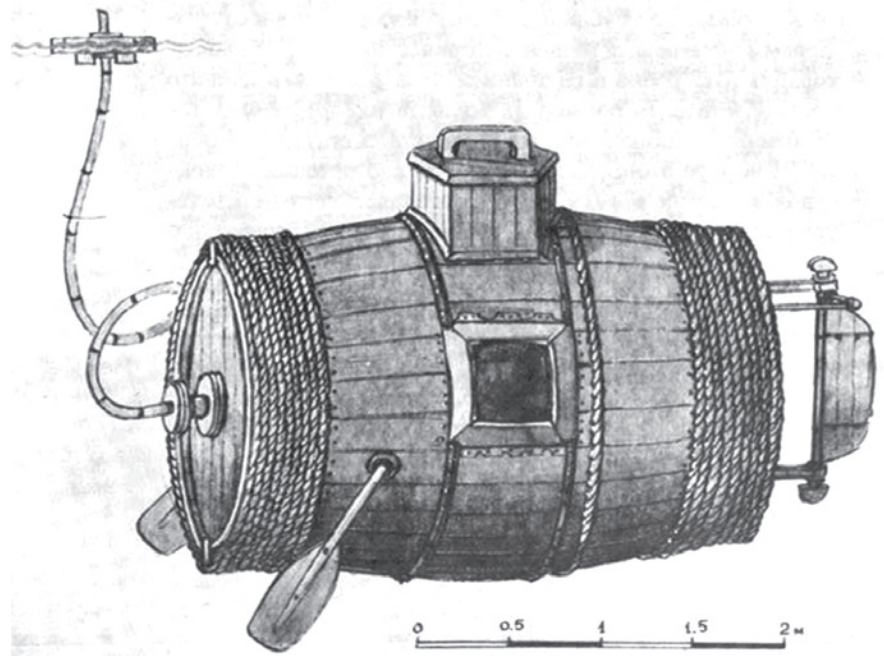
Отдельно стоит выделить проект, который во многом определил будущую деятельность крупнейшего судостроительного предприятия Санкт-Петербурга, центра неаtomного подводного кораблестроения России. «Потаенное судно» (прообраз подводной лодки) было спроектиро-

вано плотником Ефимом Никоновым в 1720 г.

По указу Петра I строительство «потаенного огненного судна большого корпуса» велось на Галерном дворе (сегодня – территория АО «Адмиралтейские верфи»). Испытания прошли осенью 1724 г. в присутствии государя и закончились неудачно. При ударе о грунт дно корабля оказалось проломлено. После смерти Петра I дальнейшие работы над оригинальным изобретением талантливого русского крестьянина были прекращены.

Так как ни чертежей, ни подробного описания «потаенного судна» не сохранилось, можно лишь только предполагать, что прообраз первой подводной лодки, созданной на Адмиралтейских верфях, был бочкообразной формы. Носовая часть имела архитектуру надводного корабля, кормовая была оснащена рулем. Рубка на верхней палубе оборудовалась герметичными смотровыми стеклами. Движителем служили весла, экипаж состоял из четырех человек. Предположительно длина судна была не более 6 м, высота – 1,5–2 м. Параллельно Ефимом Никоновым был разработан один из первых водолазных костюмов для выхода человека из судна в подводном положении для разрушения днища неприятельского корабля.

Умер Петр I, ученый, инженер, плотник, токарь, мастер многих ремесел, талантливый флотоводец и военачальник, политический деятель и дипломат, 28 января 1725 г. Удивительное разнообразие талантов этого уникального человека сделало его легендой еще при жизни. ■



Потаенное судно Е. Никонова, 1721 г.

С развитием науки и техники совершенствовались средства вооруженной борьбы, в том числе и на море. На рубеже XX в. появилось такое грозное и коварное оружие, как морские мины. Его опасность заключалось в том, что оно не имело избирательного действия и было смертельно опасно как для боевых кораблей, так и мирных, гражданских судов. Еще одна негативная особенность морских мин – это то, что очень продолжительное время после окончания боевых действий мины представляют серьезную опасность для судоходства.

Впервые в массовом масштабе морское минирование было проведено в годы русско-японской войны. На японских минных постановках погиб русский эскадренный броненосец «Петропавловск», на борту которого находился командующий флотом. Россия понесла тяжелую утрату – погиб выдающийся флотоводец адмирал С. О. Макаров. Но и русские моряки не остались в долгу – на минах, выставленных минным заградителем «Амур», подорвались японские броненосцы «Хацусэ» и «Ясима».

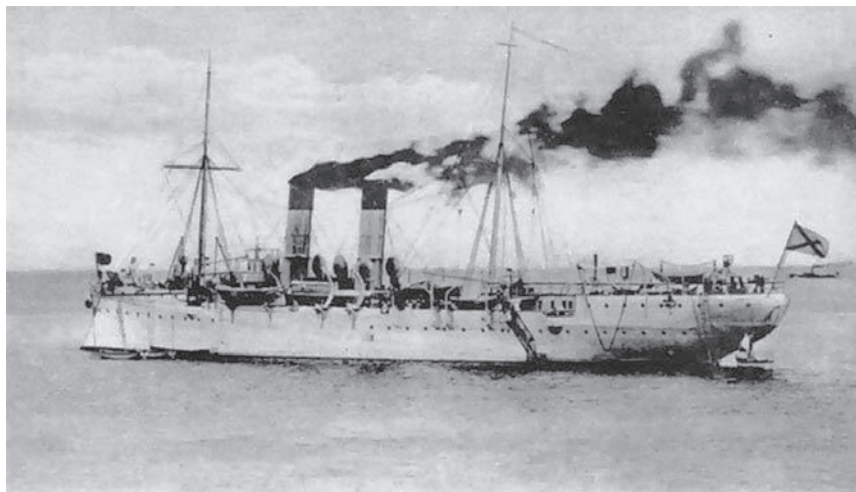
Морская минная война наглядно показала неподготовленность к ней флотов. Отсутствовали корабли, средства и методики для обезвреживания морских мин. В годы русско-японской войны противоминные мероприятия проводились теми же минными заградителями, а также паровыми катерами с эскадренных броненосцев, портовыми буксирами и портовыми пароходами. Начало создаваться тральное вооружение. Однако специально построенных для траления и обезвреживания морских мин, оснащенных специальным оборудованием, создано не было. Активнее всего к тральным работам привлекались переоборудованные для этих целей траулеры.

После войны необходимо было воссоздавать флот и, в первую очередь, строить корабли основных классов по «Классификации кораблей Российского императорского флота». Необходимо отметить, что, несмотря на перегруженность предприятий российской судостроительной промышленности, постройка специализированных кораблей – тральщиков типа «Минреп» началось в 1909 г. на Ижорском заводе в Санкт-Петербурге. Это были первые полноценные тральщики специальной постройки.

Однако командование Российского императорского флота этим не ограничилось. 22 июня 1913 г. Главным управлением кораблестроения и снабжений (ГУК) Морского министерства был объявлен конкурс с приложением

ТРАЛЬЩИКИ РОССИЙСКОГО ИМПЕРАТОРСКОГО ФЛОТА

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
С.В. Федулов, д-р истор. наук, доцент, проф. Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, чл.-корр. Академии военных наук,
В.Э. Руденко, курсовой офицер-преподаватель Михайловской военной артиллерийской академии,
И.А. Субботин, ст. офицер Учебно-методического отдела Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского,
 контакт. тел. (812) 452 4865

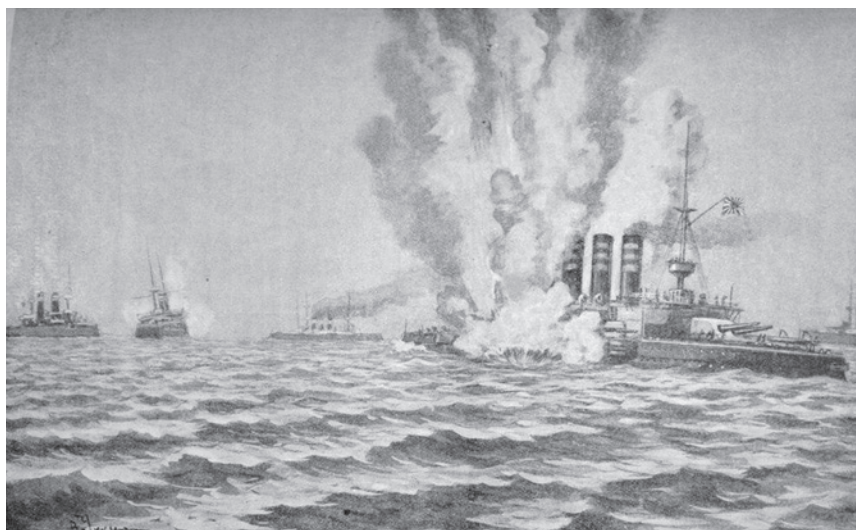


Минный заградитель «Амур»

технических требований на проектирование и постройку 12 тральщиков для Балтийского и Черного морей. В конкурсе участвовали как российские предприятия, так и иностранные. К 28 сентября 1913 г. желающие участвовать в конкурсе должны были представить ГУК заявленные цены, сроки изготовления и перечисленные в технических условиях чертежи [1].

Приглашения для участия в конкурсе и технические требования к тральщикам были направлены

в 23 адреса [2]: правлениям общества Путиловских заводов; Обуховского и Ижорского заводов; завода Ланге; Невского завода; Коломенского завода; завода Кузнецова, Финляндского общества легкого пароходства; Сормовского завода; Русского судостроительного акционерного общества; общества Николаевских заводов и верфей; завода «Беллино-Фендерих»; завода «Вадден»; акционерного общества Судостроительных и механических заводов в Санкт-Петербурге,



Подрыв на морской mine японского броненосца «Ясима»

а также представителям завода барона «Карла Вреде» – Лехтониеме и Тайпале Генриху Ратцелю; завода «Джон Кокериль» В. И. Ваховскому; завода «Говальдджерке» господину Вейсу; завода «В. Г. Армстрон, Витворт и Ко» Герману Карловичу Раштету; завода «Вулкан» в Гамбурге товариществу «Воссидло и Ко»; Сандвинского корабельного дока Рунебергу; Мюльграбенской верфи и завода «Шихау» Ф. А. Гедике; заводу «Мотала», заводу «Маскин ог Скибсыггери» и заводу «Бурмейстер ог Вейн», «Идитеборгс Нья Веркстадс».

Однако к указанному сроку по различным причинам отказались участвовать в конкурсе следующие предприятия, заводы и фирмы [3]: правления Адмиралтейского завода; Сормовского завода; Русского судостроительного акционерного общества; представители завода барона «Карла Вреде» – Лехтониеме и Тайпале Генрих Ратцель; заводу «Бурмейстер ог Вейн», «Идитеборгс Нья Веркстадс».

Технические условия на тральщики включали в себя: «Назначение судна – тралить мины в открытом море со скоростью до 15 уз при опущенных тралах, считая горизонтальную силу сопротивления трала 4 т. Судно должно иметь ледокольное образование, прочный набор корпуса и обшивки для возможности плавания круглый год. Водоизмещение должно составлять около 500 т при углублении не более 3,7 м.

Судно должно быть вполне мореходным и иметь метацентрическую высоту при нормальном водоизмещении не менее 0,7 м. Корпус должен быть построен по правилам Германского Ллойда 1912 г., а материал должен удовлетворять техническим условиям приема судостроительной стали Морского министерства № 15 от 22 августа 1912 г. Корпус должен быть разделен на отсеки, испытанные по правилам Морского министерства № 99 от 28 апреля 1898 г. Все расчеты должны быть сделаны на плавание в пресной воде и так далее. Всего 34 пункта, включающие описание корабля, тральные устройства, лебедки, тралы, двигатели, динамо-машину, пожарные помпы» [4].

Особый интерес представляют требования к бытовым условиям экипажа корабля, а именно: «Жилые помещения для командира, 2-х офицеров, 4-х кондукторов, 81 матроса. А также требования к проектированию кают, офицерскому ватерклозету и ванны, командному гальюну и умывальни, бане; камбузу для команды с плитой для офицеров. Провизионные помещения должны были вмещать провизию и питьевую воду на 7 суток, жилые по-

мещения должны быть утеплены и оборудованы паровым отоплением» [5]. По итогам конкурса данный заказ был размещен на российских предприятиях.

Следует отметить, что в «Классификацию кораблей Российского императорского флота» тральщики как боевые корабли были включены лишь в 1915 г., т. е. через год после начала Первой мировой войны.

С началом Первой мировой войны минная угроза на море возросла многократно, особенно на Балтике. Поэтому постройка тральщиков и переоборудование для выполнения тральных задач гражданских судов, буксиров начались в авральном порядке. Вместе с тем начались закупки в Великобритании отдельных образцов морской техники, а именно: у фирмы «Верити» – пароходы, парусные суда, баржи, буксиры, моторные катера для Северной ледовой флотилии, а также переоборудованные из рыболовецких траулеров тральщики [6].

Так, 15 мая 1916 г. морской агент Российского императорского флота в Великобритании докладывал о ходе реализации заказа по тральщикам (траулерам) следующее: «Контракт по тральщикам (траулерам) выполняется медленно. Первая партия – 5 траулеров (испанские) отремонтированы и переделываются в тральщики. Окончание работ ожидается через три недели. Англичане предоставили для них пушки и тралы.

Вторая партия – 11 траулеров (аргентинские) – скоро придут в Англию. И пять из них вышли из Южной Америки.

Третья партия – четыре траулера. Российские представители попросили Британское Адмиралтейство найти необходимые корабли данного класса в Англии или нейтральных странах, но довольно скоро получили ответ, что Адмиралтейство ничего для них сделать не может. Однако, когда прибывший из России генерал Поречкин обратился с аналогичным предложением к торговому дому «Ганс Смит», проблем не возникло. Необходимые для России траулеры фирма приобрела опять же у Испании и Аргентины» [7].

В годы Первой мировой войны тральные силы Российского императорского флота на Балтийском театре военно-морских действий были представлены следующими типами кораблей, выполняющих задачи противоминной обороны:

1. Тральщики типа «Ударник» – 4 ед. («Ударник», «Защитник», «Клюз», «Фортрал»). Водоизмещение – 190/220 т, размеры – 43,6×6,1×1,7 м, скорость – 11 уз, экипаж – 40 человек, вооружение:

1 орудие – 75-мм/50, 1 орудие – 47-мм (зенитное), 2 пулемета, тралы. Строились в 1916–1918 гг. в Ревеле и Петрограде, достраивались в Гельсингфорсе. Всего было заказано 22 ед., но в строй вошли только четыре. В Первой мировой войне участия не принимали. «Клюз» и «Ударник» служили до Великой Отечественной войны и погибли соответственно 25 ноября 1941 г. и 2 октября 1942 г. «Защитник» и «Фортрал» в 1918 г. были захвачены финнами и включены в состав своих ВМС. Финский Т-2 (бывший «Защитник») потоплен 24 апреля 1944 г. советской авиацией.

2. Тральщики типа «Капсюль» – 4 ед. («Капсюль», «Груз», «Щит», «Крамбол»). Водоизмещение – 200/250–271 т, размеры – 53×6,6×1–1,2 м, скорость – 9 уз, экипаж – 38 человек, вооружение: 1 орудие – 75-мм/50, 2 пулемета, тралы. Строились в Ревеле и Петрограде в 1915–1916 гг. Проект разработан на базе корпуса канонерской лодки «Бурят». В целом корабли оказались неудачными и не развили проектной скорости (11 уз), но активно участвовали в тралении и постановках мин. «Щит» погиб 6 декабря 1916 г. от подрыва на mine. Остальные в 1918 г. захвачены Финляндией, в 1922 г. возвращены РСФСР и сданы на слом в 1930-х гг.

3. Тральщики типа «Минреп» – 5 ед. («Минреп», «Взрыв», «Запал», «Проводник», «Фугас»). Водоизмещение – 137/150 т, размеры – 45×6×1,9 м, скорость – 11 уз, запас топлива 13 т угля, экипаж – 30 человек, вооружение: 1 орудие – 57-мм, 1 пулемет, тралы. Построены на Ижорском заводе в Санкт-Петербурге в 1909–1912 гг. Первые в мире полноценные тральщики специальной постройки. Активно участвовали в Первой мировой войне; три погибли от подрыва на минах («Проводник» 14 августа 1914 г., «Взрыв» 15 мая 1916 г., «Фугас» 22 ноября 1916 г.). «Минреп» в апреле 1918 г. захвачен финнами, его судьба неизвестна. «Запал» долго служил в советском ВМФ и был сдан на слом только в 1964 г.

4. Тральщики типа «Искра» – 3 ед. («Искра», «Пламя», «Патрон»). Водоизмещение – 420 т, размеры – 44,5×47×3,28 м, скорость – 11,6 уз, экипаж – 49 человек, вооружение: 2 орудия – 75-мм/50, тралы, до 45 мин заграждения. Построены в Англии в 1912–1914 гг. на базе проекта рыболовного траулера. Предназначались для Сибирской флотилии, но из-за начавшейся войны остались на Балтике. «Искра» погибла 23 сентября 1916 г. от подрыва на mine, два осталь-



Тральщик «Ударник»



Тральщик «Мирен»



Тральщик «Патрон»

ных в 1920-е гг. были вновь переоборудованы в рыболовные суда «Форель» («Пламя») и «Налим» («Патрон»). Первый списан в 1947 г., второй потоплен 9 июля 1941 г. у побережья Кольского полуострова немецкой авиацией.

5. Тральщики типа «Тумба» – 4 ед. («Тумба», «Цапфа», «Ствол», «Дуло»). Водоизмещение – 145–150 т, размеры – 27,4×6,3×1 м, скорость – 9,5 уз, экипаж – 19 человек, вооружение: 2 орудия – 75-мм/50, 1 пулемет, тра-

лы. Построены в Або в 1915–1916 гг. Заложены как буксиры, летом 1916 г. куплены Морским ведомством и вошли в строй как тральщики. В 1918 г. оставлены в Финляндии.

6. Тральщики, переоборудованные из торговых судов. В годы Первой мировой войны в составе Балтийского флота насчитывалось более 40 тральщиков, переоборудованных из бывших буксиров, каботажных грузовых, пассажирских, гидрографических и рыболовных судов. Наиболее удачными из переоборудованных пароходов считались морские буксиры «Алеша Попович», «Поток-богатырь», «Илья Муромец», «Микула», «Святослав» и «Добрыня» (постройки 1912–1913 гг., водоизмещение – 350–400 т, скорость – 11–12 уз, вооружение: 1 орудие – 75-мм/50, 1 пулемет, тралы), а также бывшие речные буксиры «Лебедянь», «Вольск», «Грузин» и «Американец», получившие номера с № 14 по № 17 соответственно (водоизмещение – 140 т, скорость – 10–12 уз, вооружение: 1 орудие – 47-мм или 1 орудие – 75-мм/50 и 1 орудие – 47-мм, тралы) [8].

Таким образом, с возникновением минной угрозы в ходе боевых действий на море, появилась крайняя необходимость в создании нового, специального типа кораблей, предназначенных для ее противодействия – тральщиков. В годы русско-японской войны для этой цели использовались вспомогательные суда, только в 1909 г. началось строительство специализированных кораблей. А в 1915 г. они вошли в «Классификацию кораблей Российского императорского флота» как боевые корабли.

Масштаб применения противником минного оружия на море в годы Первой мировой войны потребовал еще большего количества кораблей данного класса. Поэтому, помимо строительства специализированных кораблей, вновь пришлось прибегнуть к переоборудованию гражданских судов в тральщики. Девиз адмирала С. О. Макарова «Помни войну!» вновь стал актуален.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский государственный архив РГАВМФ. Ф. 401. Оп. 1. Д. 251. Л. 93.
2. Там же. Л. 94.
3. Там же. Л. Л. 126, 128, 129, 140, 141.
4. Там же. Л. 95–97.
5. Там же. Л. 96.
6. Там же. Оп. 6. Д. 939. Л. 52.
7. Там же. Л. 52.
8. Минно-тральные корабли – [Электронный ресурс] http://wunderwaffe.narod.ru/Magazine/MK/1998_04/08.htm (Дата обращения 04.12.2021) ■



25 февраля 2022 г. на базе «51 Центрального конструкторско-технологического института судоремонта» прошло заседание «круглого стола», целью которого было всестороннее обсуждение сложного текущего положения, обусловленного сроками эксплуатации и техническим состоянием плавучих доков.

В нем приняли участие руководители и специалисты 20 организаций, в том числе:

ФАУ «РМРС» и «РРР», ФГБУ «Морспасслужба», ПАО «Роснефть», ФГУП «Атомфлот»,

НИИ К и В ВМФ, НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ ВМА,

ФГУП «КГНЦ», АО «ЦТСС», АО «ЦМКБ «Алмаз», АО «ЦКБ МТ «Рубин»,

АО «ЦКБ «Монолит», ЗАО «Канонерский СРЗ», АО «КМОЛЗ», КБ «Ситех»,

АО «ССК», ООО «Нерей» и «А-РГО», ООО «Морской Петербург», РосНТО им. акад. Крылова.

В ходе обсуждения были рассмотрены вопросы:

- анализ сроков эксплуатации плавучих доков;

ПЛАВУЧИЕ ДОКИ: ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ, ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ, РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ. ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ. ПЕРСПЕКТИВЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ДОВОКОВОГО ХОЗЯЙСТВА «КРУГЛЫЙ СТОЛ», ПРОВЕДЕННЫЙ СЕКЦИЕЙ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ И СУДОРЕМОНТ» РОСНТО ИМ. АКАД. А.Н. КРЫЛОВА

РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, контакт. тел. (812) 710 4011

- общие подходы к методологии освидетельствования плавучих доков с целью определения возможности их дальнейшей безопасной эксплуатации;
- опыт применения современных технологий освидетельствования на плаву и валидации процесса проведения подводно-технических работ в сегменте освидетельствования и ремонта подводной компоненты корпусов доков;
- объемы освидетельствования, критерии оценки, исследования по бетону, арматуре и наиболее уязвимым районам доков разных конструкций и материалов;
- выполнение поверочных расчетов элементов конструкций корпуса металлических плавучих доков с применением программного обеспечения ODISSEY;
- организационно-технические мероприятия по обеспечению подъема плавучих доков при их аварийном затоплении;
- унификация конструкций плавучих металлических доков.

В числе основных предложений, поддержанных специалистами отрасли, были следующие:

- определить орган, формирующий единую техническую политику в области безопасной эксплуатации плавучих доков;
- актуализировать документацию по безопасной эксплуатации плавучих доков (по аналогии со «Сборником общих инструкций по эксплуатации судоподъемных средств ВМФ – 1973 года»);
- унифицировать Правила Морского и Речного Регистров для доков грузоподъемностью от 5 тыс. т, как вновь создаваемых, так и находящихся в эксплуатации;
- обратить внимание на недостаточную подготовку экипажей плавучих доков и отсутствие регулярных курсов аттестации;
- отметить необходимость создания программного продукта по расчету остаточной прочности плавучих доков (в том числе с учетом отсутствия проектной документации).

По общему мнению участников «круглого стола», меры по поддержанию в работоспособном состоянии плавучих доков, находящихся в эксплуатации, позволят выиграть время при их проектировании и строительстве, необходимость в которых остро ощущается в отрасли. Для обмена мнениями и передовым опытом, целесообразно провести в РосНТО им. акад. А.Н. Крылова еще один «круглый стол» на тему «Перспективные направления в проектировании, строительстве и модернизации плавучих доков». ■





Одним из направлений деятельности Российского НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова является содействие выработке единой технической политики в области создания судовой поисково-спасательной техники и технологий для повышения безопасности людей на водных объектах России.

Поэтому в год 150-летия Всероссийского общества спасания на водах (ВОСВОД) РосНТО в стенах АО «51-й Центральный конструкторско-технологический институт судоремонта» провело заседание «круглого стола» на тему «Создание и развитие системы охраны жизни людей на водных объектах».

Так же как ВОСВОД России, НТО судостроителей – одна из старейших общественных организаций страны, созданной 22 апреля 1866 г.

Актуальность проведения круглого стола обусловлена 150-летием создания ВОСВОД России. 7(19) марта 1872 г. состоялось первое собрание «Общества подаяния помощи при кораблекрушениях» (далее – Общество), созданное по инициативе моряков Кронштадта.

ВОСВОД России за свою 150-летнюю историю сыграло большую роль в развитии системы обеспечения безопасности и охраны жизни людей на водных объектах. В современных условиях ВОСВОД продолжает выполнять приоритетную задачу по охране жизни людей на ключевом направлении – на

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ЖИЗНИ ЛЮДЕЙ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ «КРУГЛЫЙ СТОЛ», ПОСВЯЩЕННЫЙ 150-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ВОСВОД РОССИИ

*РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011*

внутренних водных объектах страны в тесном взаимодействии с аварийно-спасательными формированиями министерств и организаций.

Цель проведения «круглого стола» – обсуждение актуальных аспектов состояния и развития этой системы. В заседании приняли активное участие Межрегиональная Санкт-Петербургская городская и Ленинградская областная Организация «Всероссийское общество спасания на водах», Санкт-Петербургское ГКУ «ПСС Санкт-Петербурга», ФКУ «Центр ГИМС МЧС России по Санкт-Петербургу», ООО «НПП «Морские спасательные средства», НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», Северо-Западный союз спасателей, РОО «Добровольная морская спасательная служба «Кронштадт», Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России (НИИПИ) и ряд других организаций, задействованных в безопасности людей на водных объектах.

В рамках «круглого стола» рассмотрены и активно обсуждены следующие вопросы:

- исторические аспекты создания ВОСВОД России;
- развитие нормативно-правовой базы обеспечения безопасности на водных объектах;
- совершенствование системы обеспе-

чения безопасности людей на водных объектах;

- инновационные решения и технологии при создании судовых спасательных средств и робототехнических комплексов для поиска и спасения на водных объектах.

В большинстве докладов и в выступлениях прозвучали рекомендации по развитию системы охраны жизни людей на водных объектах:

- актуализировать нормативную правовую базу, регулирующую общественные отношения в области обеспечения безопасности людей на водных объектах, что должно найти отражение в разрабатываемом федеральном законе «О безопасности людей на водных объектах»;
- повысить эффективность существующей системы предупреждения гибели людей на водных объектах на основе комплекса организационных и технических мероприятий;
- улучшить координацию деятельности элементов системы обеспечения безопасности людей на водных объектах, осуществляемой федеральным органом исполнительной власти с функциями по выработке и реализации государственной политики, нормативно-правовому регулированию, а также по надзору и контролю в данной области. ■



С 21 по 23 мая 2022 г. по инициативе Санкт-Петербургского Морского Собрания и Государственной транспортной лизинговой компании состоялись торжественные мероприятия по присвоению имени «Николай Орлов» сухогрузному теплоходу пр. RSD 59.

В ДОБРЫЙ ПУТЬ, «НИКОЛАЙ ОРЛОВ»!

И.А. Лещенко, пресс-секретарь Санкт-Петербургского Морского Собрания, контакт. тел. (812) 312 7092

ный вклад в сохранение и развитие лучших традиций Российского флота.

Николай Владимирович Орлов, выходец из флотской среды, прошедший

шая Морские собрания десяти российских регионов.

В своей деятельности Н.В.Орлов повышал престиж морской службы, популяризировал историю отечественного морского флота и укреплял его авторитет в России и за ее пределами. При его содействии ликвидировались белые пятна истории Российского флота, издавались книги по морской и военно-исторической тематике, проводились мероприятия по увековечиванию памяти героических страниц отечественного флота в России и за рубежом.

В торжественной церемонии именная табличка сухогрузного теплохода приняли участие: главный федеральный инспектор по Нижегородской области Александр Мурзин, директор ПАО «Завод «Красное Сормово» Михаил Першин, председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания Сергей Ирютин. Крестной матерью судна стала пресс-секретарь Морского Собрания Петербурга Ирина Лещенко.

«Сегодня мы присваиваем сормовскому сухогрузу имя Николая Владимировича Орлова – человека, который вложил огромное количество сил в восстановление и пропаганду славных российских морских традиций. Он собрал вокруг себя патриотов морского дела, для которых бессмертные слова генерал-адмирала русского флота великого кня-



Именной табличку судна «Николай Орлов» освящает отец Богдан

23 мая на заводе «Красное Сормово» состоялась торжественная церемония присвоения имени видного общественного деятеля Николая Орлова сухогрузу пр. RSD59, одному из 11 судов самой масштабной в гражданском судостроении России за последние годы серии, которую завод строит по заказу АО «Государственная транспортная лизинговая компания».

Накануне дня Святителя Николая Чудотворца духовник Санкт-Петербургского Морского Собрания отец Богдан (Сойко) – настоятель Николо-Богоявленского морского собора освятил именную табличку судна «Николай Орлов». Служба прошла в присутствии Почетного председателя Санкт-Петербургского Морского Собрания, адмирала, вице-президента АО «ОСК» по военному кораблестроению Владимира Королёва, председателя Собрания Сергея Ирютин, членов его Совета старшин, дочери Н.В. Орлова Анны, приглашенных.

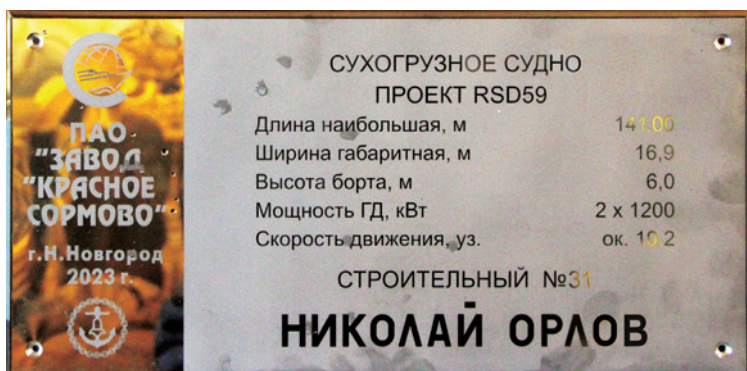
С инициативой присвоения имени Николая Орлова выступило Санкт-Петербургское Морское Собрание и Государственная транспортная лизинговая компания в знак признания его заслуг и значительный вклад в сохранение и развитие лучших традиций Российского флота.

С инициативой присвоения имени Николая Орлова выступило Санкт-Петербургское Морское Собрание и ГТЛК в знак признания его заслуг и значитель-

службу на Северном флоте на подводных лодках, воссоздал в 1995 г. и более четверти века возглавлял Санкт-Петербургское Морское Собрание. Также по его инициативе в октябре 2001 г. была создана Межрегиональная ассоциация Морских собраний России, объединив



Члены СПб МС: В.В. Камлюк, С.В. Литвинов, В.И. Королёв, С.П. Ирютин, Э.А. Конов, А.Н. Орлова и отец Богдан



Именная табличка судна

зия Константина Николаевича «За флот России надо бороться» стали призывом к действию», – отметил генеральный директор ПАО «Завод «Красное Сормово» Михаил Першин.

В числе заслуг Санкт-Петербургского Морского Собрания, совершенных по инициативе Н.В. Орлова, значатся такие, как доставка на Родину из Франции и перезахоронение последнего морского министра императорской России адмирала И.К. Григоровича в 2005 г., установление бронзовых бюстов Федору и Алексею Орловым, адмиралу Ф.Ф. Ушакову в г. Вильфранш-сюр-Мер (Франция), передача Владимирскому собору в Севастополе (усыпальнице русских адмиралов) пятнадцати килограммов золоченых букв, предназначенных для восстановления утраченных надписей на 59 памятных досках, где выбиты имена героев-участников обороны Севастополя в ходе Крымской войны 1853–1856 гг.

«Сегодня один из сухогрузов завода «Красное Сормово» обретет имя, которое в дальнейшем станет судьбоносным. Николай Орлов – офицер, человек с огромной силой воли, неиссякаемой энергией и тягой к труду. Он проявил себя инициативным, вдумчивым и принципиальным руководителем. Его помнят как человека, который уделял внимание возрождению традиций Российского флота и укреплению его позиций на мировой арене. Как дань уважения его памяти мы сегодня и нарекаем сухогруз со строительным номером 31. Чтобы имя такого выдающегося человека, как Николай Владимирович, надолго осталось в памяти потомков. Будем надеяться, что данный сухогруз будет долгие годы работать на благо страны и области и достоин имени человека, в честь которого назван», – упомянул в приветственном слове главный федеральный

инспектор по Нижегородской области Александр Мурзин.

«За время работы Николая Владимировича деятельность Санкт-Петербургского Морского Собрания стала неотъемлемой частью жизни флота, организацией с богатой насыщенной историей, с собственными традициями и законами, поставленными на службу российскому государству и российскому воинству», – подчеркнул председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания Сергей Николаевич Ирютин.

«Я очень рада предоставленной мне Советом старшин Санкт-Петербургского Морского собрания высокой чести назвать корабль именем человека, более четверти века посвятившего свою жизнь и деятельность бескорыстному служению флоту России, возрождению его славных вековых традиций, сохранению и пропаганде его героической истории, поддержке моряков и ветеранов. Пусть этот корабль с честью несет на борту славное имя «Николай Орлов». Семь футов ему под килем! В добрый путь», – поделилась впечатлениями Ирина Лещенко.

Справка:

Суда пр RSD59 предназначены для перевозки генеральных и навалочных грузов, пакетированных пиломатериалов, круглого леса, металлолома, металла в связках и рулонах, крупногабаритных, длинномерных и тяжеловесных грузов, угля, опасных грузов и грузов категории «В». Длина судна – 141 м, ширина – 16,98 м, высота борта – 6 м, осадка в море – 4,5 м, в реке – 3,6 м. ■



Сухогруз «Николай Орлов» у причала завода «Красное Сормово». Фото ПАО «Завод «Красное Сормово»

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 (полуполноцветные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безгонорарной основе.

4. Контрольное рецензирование этих статей осуществляет редакционная коллегия с привлечением при необходимости профильных специалистов. Рецензии на статьи хранятся в редакции журнала в течение 5 лет.

5. В случае отказа в публикации автору высылается рецензия. Копии рецензий направляются в Минобрнауки России при поступлении соответствующего запроса в редакцию журнала.

6. Содержание журнала ежеквартально представляется на рассмотрение редакционному совету. Решение о выпуске очередного номера оформляется протоколом.

РЕФЕРАТЫ

УДК 656.61.052 **Ключевые слова:** Севморпуть, аварийная ситуация, Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации, мобильные автономные морские комплексы аварийно-спасательного обеспечения, ПКБ «Петробалт»

В.П. Кеонджан, В.В.Чугунов, И.В.Щербак, А.Н. Суслов. Об аварийно-спасательном обеспечении Севморпути // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 9

Рассмотрена проблема аварийно-спасательного обеспечения деятельности Севморпути. Для выполнения задач, поставленных в «Стратегии развития Арктической зоны РФ» и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г. предлагается создание мобильных автономных морских комплексов аварийно-спасательного обеспечения. Т.1. Ил.3.

УДК 629.5.035.58 **Ключевые слова:** двухступенчатые лопастные движители, экспериментальные исследования

А.Р. Тогунай, С.Л. Анчик, Л.И. Вишневский. Соосные гребные винты и двухступенчатые лопастные движители // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 13

Представлены основные этапы развития экспериментальных исследований гидродинамики двухступенчатых лопастных движителей в кавитационных трубах и опытовых бассейнах стран с развитым судостроением. Последовательно рассмотрены опыты с соосными гребными винтами противоположного вращения, многофункциональными двухступенчатыми лопастными движителями, а также гребными винтами с неподвижными контрпропеллерами. Дана оценка гидродинамической эффективности движителей, выявленная в ходе экспериментов, которая выражается (в зависимости от вида движителя) в диапазоне 4–12% энергосбережения. Т.2. Ил.13. Библиогр.32 назв.

УДК 629.123 **Ключевые слова:** судостроение, анализ состояния, стратегия развития, модернизация, государственная поддержка, импортозамещение

О.В. Савченко, В.Н. Половинкин. Размышления о состоянии и перспективах развития отечественного гражданского судостроения. Часть 1 // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 19

Рассмотрены проблемы современного состояния и развития отечественной судостроительной промышленности. Показана практическая невозможность силами отечественных предприятий удовлетворить потребности внутреннего рынка в гражданских судах и специальной морской технике до 2035 г. из-за организационных и технологических проблем. Затронуты вопросы локализации и импортозамещения. Т.1. Ил. 5. Библиогр. 9 назв.

УДК 621.039.5 **Ключевые слова:** атомный ледокол «Ленин», ядерная энергетическая установка, паропроизводительная установка (ППУ), демонтаж, технология судоремонта

Б.П. Ионов, В.А. Старшинов. Атомный ледокол «Ленин»: новые технологии в процессе ремонта и модернизации // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 24

Изложены основные этапы замены ППУ на первом в мире атомном ледоколе «Ленин». Удалению атомной установки из корпуса ледокола предшествовали научно-исследовательские и конструкторские разработки для решения комплекса инновационных и нетрадиционных задач как теоретического, так и производственного характера. Ил. 3.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** военно-морской флот, боевые надводные корабли, перспективные боевые корабли, корабельные энергетические установки, направления развития энергетических установок.

В.В. Барановский, П.Г. Печковский. Обоснование направлений развития и совершенствования энергетических установок перспективных боевых надводных кораблей. Часть 1 // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 29

Выполнен анализ направлений развития и совершенствования корабельных энергетических установок (ЭУ), создаваемых на основе дизельных и газотурбинных двигателей, для перспективных боевых надводных кораблей. Анализируются технические решения по развитию корабельных ЭУ военно-морских флотов ведущих морских держав и РФ. Т. 3. Ил. 23. Библиогр. 9 назв.

УДК 620.9:44.41.29 **Ключевые слова:** система очистки (СО), энергетическая установка (ЭУ), питательный клапан (ПК), клапан расходный (РК), абсорбер, регулятор уровня, углекислый газ, шлейф

А.Н. Дядик, Д.М. Кучинский, Д.О. Глазырина. Алгоритмы управления процессом очистки рабочего газа от углекислого газа // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 39

Представлен сравнительный анализ алгоритмов управления процессом очистки рабочего газа во внешней воде при поддержании постоянного давления в абсорбере. В качестве основного возмущения рассматривалось синусоидальное изменение давления газа с периодом колебаний $T_p=120$ с. Была реализована программа управления расходом воды, позволяющая управлять насосом переменной производительности в автоматическом и ручном дистанционном режимах. Для повышения продолжительности и точности поддержания назначенного давления в абсорбере рекомендуется корректировать сигнал заданного давления по условиям изменения уровня за установленные пределы. Ил. 12. Библиогр. 3 назв.

УДК 623.9 **Ключевые слова:** электронасосная силовая установка, турбонасос, запуск, выстрел, шумность, торпедный аппарат, редуктор

В.Г. Михлин, А.А. Румянцев, Н.Н. Семенов, И.А. Шавырин. Анализ технических решений насосных стреляющих устройств на кораблях ВМС США // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 42

Приведены данные о разработке в ВМС США торпедных аппаратов с силовыми установками на основе гидравлического насоса вращения и пневматической турбины в качестве привода. По имеющимся в открытом доступе материалам проведен анализ известных вариантов конструкции подобных пусковых установок. Выделены недостатки конструкции и принципа выстреливания в целом. Критическим недостатком названо наличие в качестве рабочего тела для привода турбины воздуха высокого давления, что существенно сказывается на шумности выстрела. Приведен перечень акустических параметров использованных при анализе акустического портрета. Кроме того, требуется утилизация отработанного воздуха, поступающего в отсек подводной лодки. Решением проблемы является отказ от воздуха высокого давления и переход, например, на электрический привод насоса. На основе анализа даны рекомендации реализации систем стрельбы для применения в отечественном военно-морском флоте. Ил.7. Библиогр.3 назв.

УДК 62-522.2 **Ключевые слова:** телеуправляемый обитаемый подводный аппарат (ТППА), робототехника, семистепенной морской глубоководный манипулятор, гидравлические манипуляторные устройства, прочностной расчет, топологическая оптимизация

В. С. Кожевников, В. В. Потехин, П. К. Смирнов. Расчет глубоководного гидравлического манипулятора МГМ-7 Часть 2. Прочностной расчет и топологическая оптимизация // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 45

Продемонстрировано проведение прочностного расчета, а также топологической оптимизации с использованием метода конечных элементов (МКЭ) на примере одной из деталей манипуляторного устройства МГМ-7. Ил.9. Библиогр.3 назв.

УДК 62-932.2 **Ключевые слова:** сепаратор, аддитивные технологии, воздухоочистные устройства, 3D-печать

М.А. Баранов. Модернизация сепаратора сухой инерционной очистки // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 51

Освещена модернизация производства инерционного сепаратора с использованием аддитивной технологии взамен термопластичного препрега. Ил. 7. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.874.7 **Ключевые слова:** кран мостовой, габариты, параметры, электроприводы регулируемые, механизмы движений, полки ездовые, рейки зубчатые, запасовка канатная, управление краном, регистратор режимов, энергообеспечение кабельное, подвески воздушные

В. Б. Здрогов. Конструктивные особенности судовых электромостовых кранов и пути совершенствования их технических характеристик // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 53

Рассмотрены проблемы совершенствования технических характеристик судового электромостового крана навесного типа, отвечающего действующим нормативным требованиям и правилам. Для обеспечения безопасной работы крана на судне и проведения анализа причин отказа крановых механизмов, включая аварийные, установлен регистратор режимов, конструктивное исполнение которого позволяет управлять работой крана. Охарактеризованы конструктивные особенности подведения к мосту крана и его грузовой тележке силовых и информационных электрокабелей и обеспечение условий их сохранности и долговечности. Намечены пути дальнейшего совершенствования судовых электромостовых кранов. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 4 назв.

УДК 628.11 **Ключевые слова:** система охлаждения, энергоустановка, антикоррозионное покрытие, краска, обрастание

С. Г. Черный, В. А. Кучеренко, В. С. Чернуха, М. В. Кержидь. Анализ условий работы системы охлаждения СЭУ заборной водой с учетом эксплуатационных факторов // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 58

Рассмотрены различные виды процессов, оказывающих негативное влияние на показатели надежности систем охлаждения судовых энергетических установок (СЭУ). Выделены определяющие факторы, интенсифицирующие процессы коррозии и эрозии элементов систем охлаждения. Выполнен анализ условий работы и поврежденных элементов системы охлаждения с учетом эксплуатационных факторов. Обоснована необходимость

разработки новых методов комплексной системы защиты поверхностей элементов систем охлаждения СЭУ. Т.1. Ил. 4. Библиогр. 15 назв.

УДК 621.355.9 **Ключевые слова:** подводный аппарат, подводное применение, литий-ионные аккумуляторы, свинцово-кислотные аккумуляторы

В. Г. Данилова. Обзор данных тематического исследования «Литий-ионные батареи для подводного применения» GlobalData Thematic Research // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 61

На основе данных отчета «Литий-ионные батареи для подводного применения» GlobalData Thematic Research 2020 г. (код отчета GDFE-TR-S011) рассмотрены сильные и слабые стороны, ключевые технологические тенденции литий-ионных аккумуляторов, основные возможности и угрозы их подводного применения. Библиогр. 5 назв.

УДК 621.31 **Ключевые слова:** система электропитания, качество функционирования, адаптивное управление, бионический подход, интеллектуальная система поддержки принятия решений

В. А. Смирнов, Ю.Ф. Подоплёткин, А.Н. Рудаков. Интеллектуализация систем электропитания высокоответственных объектов // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 67

Изложены результаты исследования в области проектирования систем электропитания высокоответственных объектов. На основе бионического подхода к проектированию предложена перспективная модель системы электропитания, включающая интеллектуальные компоненты. Полученные теоретические результаты могут быть использованы при проектировании данного класса систем как в военной, так и в гражданской промышленности. Ил. 6.

УДК 656.61 **Ключевые слова:** безопасность плавания, а-Навигация, центр дистанционного управления, автономная навигационная система, навигационные задачи, система координированного управления

А.С. Корнев, А.С. Скрыпка, С.П. Хабаров. Органы управления движением автономного судна на дистанционном посту управления // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 75

Из-за отсутствия единого мнения у судоводителей о размещении необходимых органов управления движением морским автономным надводным судном (МАНС) на посту дистанционного управления (ПДУ) была сформирована группа экспертов-судоводителей, которая осуществляла управление МАНС с поста ДПУ в течение более одного года. Далее был проведен опрос отобранной группы экспертов, и его результаты были обработаны с помощью метода групповых оценок, что позволило выработать единое решение о необходимых органах управления движением на ПДУ. Приведен пример расчета групповой оценки органов управления движением МАНС. Т. 2. Ил. 2. Библиогр. 2 назв.

УДК 004.5:372.862:[629.5.021.18+629.561.5] **Ключевые слова:** арктическое судостроение, подготовка кадров, образовательная программа, электронное обучение, информационная система поддержки

В.В. Якимов, Г.Е. Егизаров. Разработка информационной системы поддержки обучения проектированию и конструированию судов ледового плавания // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 81

Отмечена важность развития квалифицированного кадрового обеспечения текущих и перспективных проектов в области арктического судостроения. Выполнен краткий обзор соответствующих видов и программ обучения, реализуемых в России и за рубежом. Дано общее описание оригинальной информационной системы поддержки обучения проектированию и конструированию судов ледового плавания, проанализированы предпосылки и условия ее разработки, представлены внутренняя структура и предметное содержание. Сделан вывод о том, что процесс обучения специалистов по арктическому судостроению целесообразно организовывать на основе сбалансированной комбинации традиционных и инновационных подходов. Т.3. Ил.1 Библиогр. 13 назв.

УДК 004.056 **Ключевые слова:** математическая модель,

информационная система, информационная безопасность, киберразведка, конфиденциальная информация, Марковский случайный процесс

В.Г. Ерышов, Р.Д. Куликов. Математическая модель процесса несанкционированного получения конфиденциальной информации киберразведкой из корпоративных информационных систем организаций и предприятий // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 85

Рассмотрена математическая модель процесса несанкционированного получения конфиденциальной информации киберразведкой из корпоративных информационных систем организаций и предприятий, разработанная на основе теории Марковских случайных процессов. Разработка математической модели проводилась в рамках мероприятий по повышению эффективности системы технической защиты конфиденциальной информации в АО «Армалит». Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

УДК 004.032.26 **Ключевые слова:** нейронные сети, производство, автоматизация, программирование

К.Г. Шагин. Классификация типовых узловых сборок с применением нейронных сетей // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 89

Приведено краткое описание работы искусственных нейронных сетей и разработки программного комплекса для решения производственной задачи по проектированию узловыхборок в АО «Адмиралтейские верфи». Ил.6. Библиогр.3 назв.

УДК 623.094 **Ключевые слова:** сопротивление изоляции, кабельная трасса, повреждение изоляции, контроль сопротивления изоляции, система ДУ, система размагничивания

В.Н. Грачёв, Б.Ю. Семёнов, В.В. Фогель. Современные методы контроля сопротивления изоляции в корабельных системах компенсации магнитных полей корпусных конструкций // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 93

Приведен краткий обзор технических средств, применяемых в настоящее время для эксплуатационного контроля сопротивления изоляции кабельных трасс корабельных систем компенсации магнитных полей. Представлена информация о перспективном устройстве контроля сопротивления изоляции типа МКЦИ, разработанном АО «НПФ «Меридиан» и применяемом в составе аппаратуры управления системой компенсации магнитных полей корабельных корпусных конструкций. Ил. 5.

УДК 629.5.018 **Ключевые слова:** виброметр, экспериментальная установка, амплитудно-частотные характеристики, механические системы, демпфирующие коэффициенты

Н.А. Тарануха, Мин Ко Ко. Экспериментальное определение коэффициентов демпфирования дюралюминиевого материала на основе идеи предельного перехода с помощью лазерного виброметра // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 96

Проанализированы результаты экспериментальных исследований демпфирующих свойств дюралюминия на основе измерений колебаний в воздухе и жидкости (воде). При измерении амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) исследуемого материала использовался лазерный виброметр «Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001, Polytec GmbH, Germany». При снятии показаний в экспериментах использовалась программа «Polytec vibrometer software» (Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001, Polytec GmbH, Germany). Обработка экспериментальных данных и построение графиков проводилась с помощью программы Microsoft Excel. Конечная цель – определение коэффициентов демпфирования материала колеблющейся конструкции на базе идеи предельного перехода. Методика исследований обладает оригинальностью, заключающейся в использовании новой идеи предельного перехода и выполнении экспериментов на базе указанного виброметра; разработана с целью практического применения и позволяет определять АЧХ систем, колеблющихся в различных жидкостях и состоящих из различных материалов. Результаты получены оригинальные. Главная особенность работы – исследование нового физического эффекта – «эффекта предельного. перехода». Т.1. Ил.5. Библиогр.3 назв.

УДК 620:691 **Ключевые слова:** безопасность системы,

опасное состояние системы, технический риск, ожидаемый ущерб, надводный корабль ВМФ, сложная техническая система, схема функциональной целостности, моделирование корабельного пожара

П.А. Зубков. Оценка противопожарной безопасности корабельных помещений с использованием программных средств автоматизированного структурно-логического моделирования. Часть 1 // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 99

Раскрыты основные возможности применения логико-вероятностных методов при оценке противопожарной безопасности корабельных помещений. Проиллюстрированы основные результаты использования аппарата логико-вероятностных методов в совокупности с математической моделью развития пожара в помещениях, которые позволяют количественно оценить вероятностные характеристики противопожарной безопасности этих помещений в зависимости от используемых материалов. Т.6. Ил.12. Библиогр.11 назв.

УДК 57.022 **Ключевые слова:** коралл, морское обростание, факторы, температура, глубина, интенсивность, соленость, защита

В.Р. Ефремов. Биологическое обростание: факторы возникновения и методы борьбы // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 107

Рассматриваются факторы возникновения биологического обростания и методы борьбы с ним. Ил.1. Библиогр. 3 назв.

УДК 656.614.32 **Ключевые слова:** штабель, пакетированные пиломатериалы, ярус, угол статической устойчивости, угол динамической устойчивости

Г.А. Пелехов, А.А. Хохлов. Анализ углов статической и динамической устойчивости штабеля при поярусном креплении // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 108

Рассмотрены углы статической и динамической устойчивости штабеля пакетированных пиломатериалов, перевозимых водным транспортом на палубе, и проведен их сравнительный анализ в зависимости от применяемой схемы крепления штабеля. Т.3. Библиогр. 7 назв.

УДК 627.772 **Ключевые слова:** спасание на водах, спасатель, водно-спасательная станция, аварийно-спасательная служба, спасательный пост

В.Н. Илюхин. Создание и развитие системы охраны жизни людей на водных объектах (к 150-летию ВОСВОД России) // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 112

Рассмотрены исторические аспекты создания и развития системы обеспечения безопасности и охраны жизни людей на водных объектах. Раскрыты роль и место Всероссийского общества спасания на водах в федеральной системе поиска и спасания на акваториях. Определены ключевые направления развития структурных организаций общества. Сформулированы предложения по совершенствованию системы обеспечения безопасности и охраны жизни людей на водных объектах. Ил. 6. Библиогр. 10 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** Петр I, Российский флот, Адмиралтейские верфи, кораблестроение

Петр I – отец флота российского // Морской вестник. 2022. №2(82). С. 117

Напоминание об основании Российского флота императором Петром Первым, закладке новой столицы государства российского и судостроительной верфи – Адмиралтейской. Ил.6.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** Морское министерство, Морской технический комитет, Русско-Японская война, техническое условие, тральщик, траулер, морские мины

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, В.Э. Руденко, И.А. Суботин. Тральщики Российского императорского флота // Морской вестник. 2022. №1(81). С. 120

С массовым применением морских мин в Русско-Японской войне возникла острая необходимость в создании специальных кораблей для борьбы с ними. В статье освещается проблема строительства для Российского императорского флота специальных кораблей –тральщиков. Ил. Ил. 5. Библиогр. 8 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 656.61.052 **Keywords:** Northern Sea Route, emergency situation, Strategy for the development of the Arctic zone of the Russian Federation, mobile autonomous marine emergency support systems, Petrobalt Design Bureau

V.P. Keondzhan, V.V. Chugunov, I.V. Scherbakov, A.N. Suslov. On rescue support of the Northern Sea Route//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 9

The problem of emergency and rescue support for the activities of the Northern Sea Route is considered. To fulfill the tasks set in the «Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation» and ensure national security for the period up to 2035, it is proposed to create mobile autonomous marine rescue support systems. T.1. Fig. 3.

UDC 629.5.035.58 **Keywords:** two-stage propulsors, experimental studies

A.R. Togunjac, S.L. Anchikov, L.I. Vishnevsky. Contra-rotating propellers and two-stage blade propulsors//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 13

The main stages in the development of experimental studies of the hydrodynamics of two-stage blade propulsors in cavitation tunnel and model basins of countries with developed shipbuilding are presented. Experiments with contra-rotating coaxial propellers, multifunctional two-stage blade propulsors, and propellers with fixed counter-propellers are considered. An assessment of the hydrodynamic efficiency of the propellers, revealed in the course of experiments, is given, which is expressed (depending on the type of propeller) in the range of 4-12% of energy saving. T.2. Fig. 13. Bibliography 32 titles.

UDC 629.123 **Keywords:** shipbuilding, state analysis, development strategy, modernization, government support, import substitution

O.V. Savchenko, V.N. Polovinkin. Reflections on the state and prospects for the development of domestic civil shipbuilding. Part 1//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 19

The problems of the current state and development of the domestic shipbuilding industry are considered. The practical impossibility of domestic enterprises to meet the needs of the domestic market in civil ships and special marine equipment until 2035 due to organizational and technological problems is shown. The issues of localization and import substitution were touched upon. T.1. Fig. 5. Bibliography 9 titles.

UDC 621.039.5 **Keywords:** nuclear icebreaker «Lenin», nuclear power plant, steam generating plant (SPU), dismantling, ship repair technology

B.P. Ionov, V.A. Starshinov. Nuclear icebreaker «Lenin»: new technologies in the process of repair and modernization//Morskoy Vestnik. 2022. No. 2(82). P. 24

The main stages of the replacement of PPU on the world's first nuclear-powered icebreaker «Lenin» are outlined. The removal of the nuclear plant from the icebreaker's hull was preceded by research and development to solve a set of innovative and non-traditional problems for shipbuilding, both theoretical and industrial. Fig. 3.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** navy, combat surface ships, promising combat ships, ship power plants, directions of development of power plants.

V.V. Baranovsky, P.G. Pechkovsky. Substantiation of directions for the development and improvement of power plants of promising combat surface ships. Part 1//Morskoy Vestnik. 2022. No. 2(82). P. 29

The analysis of the directions of development and improvement of ship power plants (PP), created on the basis of diesel and gas turbine engines, for advanced combat surface ships is 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. T. 3. Fig. 23. Bibliography 9 titles.

UDC 620.9:44.41.29 **Keywords:** cleaning system (CO), power plant (PP), feed valve (PC), flow valve (RC), absorber, level controller, carbon dioxide, plume

A.N. Dyadik, D.M. Kuchinsky, D.O. Glazyrina. Algorithms for controlling the process of cleaning the working gas from carbon dioxide//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 39

A comparative analysis of algorithms for controlling the process of cleaning the working gas in external water while maintaining a constant pressure in the absorber is presented. As the main perturbation, a sinusoidal change in gas pressure with an oscillation period $T_1=120$ s was considered. A water flow control program was implemented that allows you to control a variable displacement pump in automatic and manual remote modes. To increase the duration and accuracy of maintaining the assigned pressure in the absorber, it is recommended to correct the set pressure signal according to the conditions of level change beyond the established limits. Fig. 12. Bibliography 3 titles.

UDC 623.9 **Keywords:** electric pump power plant, turbopump, launch, shot, noise, torpedo tube, reducer

V.G. Mikhlin, A.A. Rumyantsev, N.N. Semenov, I.A. Shavyrin. Analysis of technical solutions for pump firing devices on US Navy ships//Morskoy Vestnik. 2022. № 2(82). P. 42

The article provides data on the development of torpedo tubes for the US Navy with power plants based on a hydraulic rotation pump and a pneumatic turbine as a drive. An analysis of known design options for such launchers has been carried out based on the materials available in the public domain. The disadvantages of both the design and the principle of firing as a whole are highlighted. A critical drawback is the presence of high-pressure air as a working fluid for driving a turbine, which significantly affects the noise of the shot. A list of acoustic parameters used in the analysis of the acoustic portrait is given. In addition, the utilization of the exhaust air entering the submarine compartment is required. The solution to the problem is the rejection of high pressure air and the transition, for example, to an electric pump drive. Recommendations are given for the implementation of firing systems for use in the domestic navy based on the analysis. Fig.7. Bibliography 3 titles.

UDC 62-522.2 **Keywords:** remote-controlled uninhabited underwater vehicle (ROUV), robotics, seven-degree marine deep-sea manipulator, hydraulic manipulator devices, strength calculation, topological optimization

V. S. Kozhevnikov, V. V. Potekhin, P. K. Smirnov. Calculation of the MGM-7 deep-water hydraulic manipulator. Part 2. Strength calculation and topological optimization//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 45

The article demonstrates the carrying out of strength calculation, as well as topological optimization using the finite element method (FEM) on the example of one of the details of the MGM-7 manipulator device. Fig. 9. Bibliography 3 titles.

UDC 62-932.2 **Keywords:** separator, additive technologies, air cleaning devices, 3D printing

M.A. Baranov. Modernization of the dry inertial cleaning separator//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 51

The modernization of the production of an inertial separator using additive technology instead of a thermoplastic prepreg is highlighted. Fig. 7. Bibliography 4 titles.

UDC 621.874.7 **Keywords:** overhead crane, dimensions, parameters, adjustable electric drives, movement mechanisms, driving shelves, gear racks, rope reeving, crane control, mode recorder, cable power supply, air suspensions

V. B. Zdrogov. Design features of ship electric bridge cranes and ways to improve their technical characteristics//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 53

The problems of improving the technical characteristics of a mounted electric bridge crane that meets the current regulatory requirements and rules are considered. To ensure the safe operation of the crane on the ship and to analyze the causes of failure of crane mechanisms, including emergency ones, a mode recorder is installed, the design of which allows you to control the operation of the crane. The design features of connecting power and information electrical cables to the crane bridge and its cargo trolley and ensuring the conditions for their safety and durability are characterized. The ways of further improvement of ship electric bridge cranes are outlined. T. 1. Fig. 4. Bibliography 4 titles.

UDC 628.11 **Keywords:** cooling system, power plant, anti-corrosion coating, paint, fouling

S.G. Cherny, V.A. Kucherenko, V.S. Chernukha, M.V. Kerdys'. Analysis of the operating conditions of the SPP cooling system with outboard water, taking into account operational factors//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 58

Various types of processes that have a negative impact on the reliability indicators of the cooling systems of ship power plants (SPP) are considered. The determining factors intensifying the processes of corrosion and erosion of elements of cooling systems are identified. The analysis of working conditions and damages of elements of the cooling system is carried out, taking into account operational factors. The necessity of developing new methods for the complex system of protection of the surfaces of the elements of the SPP cooling systems is substantiated. T.1. Fig. 4. Bibliography 15 titles.

- UDC 621.355.9 **Keywords:** underwater vehicle, underwater application, lithium-ion batteries, lead-acid batteries
- V.G. Danilova. Data review of the case study «Lithium-ion batteries for underwater applications» GlobalData Thematic Research//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 61**
- Based on the GlobalData Thematic Research 2020 Lithium-Ion Submarine Report (report code GDFE-TR-S011), the strengths, weaknesses, key technological trends of lithium-ion batteries, the main opportunities and threats of their underwater application are considered. Bibliography 5 titles.
- UDC 621.31 **Keywords:** power supply system, quality of functioning, adaptive management, bionic approach, intelligent decision support system
- V.A. Smirnov, Yu.F. Podoplekin, A.N. Rudakov. Intellectualization of power supply systems for highly responsible objects//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 67**
- The article presents the results of research in the field of designing power supply systems for highly responsible objects. Based on the bionic approach to design, a promising model of a power supply system is proposed, including intelligent components. The theoretical results obtained can be used in the design of this class of systems in both military and civilian industries. Fig.7. Bibliography 6 titles.
- UDC 656.61 **Keywords:** navigation safety, a-Navigation, remote control center, autonomous navigation system, navigation tasks, coordinated control system
- A.S. Korenev, A.S. Skrypka, S.P. Khabarov. Controls for the movement of an autonomous vessel at a remote control post//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 75**
- Due to the lack of consensus among navigators on the placement of the necessary traffic control elements of a marine autonomous surface vessel (MANS) at a remote control post (RC), a group of expert navigators was formed, which controlled the MANS from a RCC post for more than one year. Next, a survey was conducted with a selected group of experts, and its results were processed using the group assessment method, which made it possible to develop a unified decision on the necessary traffic controls on the remote control. An example of calculating the group assessment of the traffic control elements of the IASC is given. T.2. Fig. 2. Bibliography 2 titles.
- UDC 004.5:372.862:[629.5.021.18+629.561.5] **Keywords:** Arctic shipbuilding, personnel training, educational program, e-learning, support information system
- V.V. Yakimov, G.E. Egiyarov. Development of an information system to support training in the design and construction of ice-going ships//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 81**
- The importance of developing qualified staffing for current and future projects in the field of Arctic shipbuilding was noted. A brief review of the relevant types and training programs implemented in Russia and abroad is made. A general description of the original information system to support training in the design and construction of ice-going ships is given, the prerequisites and conditions for its development are analyzed, and the internal structure and subject content are presented. It is concluded that it is advisable to organize the process of training specialists in the Arctic shipbuilding on the basis of a balanced combination of traditional and innovative approaches. T.3. Fig.1. Bibliography 13 titles.
- UDC 004.056 **Keywords:** mathematical model, information system, information security, cyber intelligence, confidential information, Markov random process
- V.G. Eryshov, R.D.Kulikov. Mathematical model of the process of unauthorized receipt of confidential information by cyberintelligence from corporate information systems of organizations and enterprises//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 85**
- A mathematical model of the process of unauthorized receipt of confidential information by cyberintelligence from corporate information systems of organizations and enterprises, developed on the basis of the theory of Markov random processes, is considered. The development of a mathematical model was carried out as part of measures to improve the efficiency of the system of technical protection of confidential information in Armatly JSC. T.1. Fig.3. Bibliography 3 titles.
- UDC 004.032.26 **Keywords:** neural networks, production, automation, programming
- K.G. Shmagin. Classification of typical nodal assemblies using neural networks//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 89**
- A brief description of the work of artificial neural networks and the development of a software package for solving the production problem of designing nodal assemblies in Admiralty Shipyards JSC is given. Fig.6. Bibliography 3 titles.
- UDC 623.094 **Keywords:** insulation resistance, cable route, insulation damage, insulation resistance control, remote control system, demagnetization system
- V.N. Grachyov, B.Yu. Semyonov, V.V. Fogel. Modern methods of insulation resistance control in ship systems for compensating magnetic fields of hull structures//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 93**
- A brief review of the technical means currently used for the operational control of the insulation resistance of cable routes of shipboard magnetic field compensation systems is given. Information is presented on a promising insulation resistance control device of the MKSI type, developed by SPF Meridian JSC and used as part of the control equipment for the magnetic field compensation system of ship hull structures. Fig.5.
- UDC 629.5.018 **Keywords:** vibrometer, experimental setup, hydroelastic vibrations, amplitude-frequency characteristics, mechanical systems.
- N.A. Taranukha, Min Ko Ko. Experimental determination of the damping coefficients of duralumin material based on the idea of limit transition using a laser vibrometer//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 96**
- The articles of this series of studies are devoted to the determination of damping coefficients for various structural materials (for example, steel, duralumin, etc.). Another important structural material in shipbuilding is duraluminium, which has a low specific gravity, which is important from the point of view of the distribution of weight characteristics (stability) of the vessel. This work is intended for experimental studies of the damping properties of duraluminium based on measurements of vibrations in air and liquid (water). When measuring the amplitude-frequency characteristics of the material under study, a laser vibrometer is used: «Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001, Polytec GmbH, Germany». When taking readings in experiments, the program «Polytec vibrometer software» (Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001, Polytec GmbH, Germany) was used. Experimental data processing and plotting were carried out using the «Microsoft Excel» program. The ultimate goal is to determine the damping coefficients of the material of the oscillating structure. At the same time, the idea of a limit transition is used.
- The research methodology has originality, which consists in using a new idea of the limit transition and performing experiments based on a vibrometer (Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001). The results obtained on the basis of experimental studies are also original. The technique was created for the purpose of practical application and makes it possible to determine the amplitude-frequency characteristics of systems oscillating in various liquids and consisting of various materials.
- The main feature of this study is the study of a new physical effect «the effect of marginal transition» (an explanation of this effect is given in the article). T.1. Fig.5. Bibliography 3 titles.
- UDC 620:691 **Keywords:** system safety, dangerous state of the system, technical risk, expected damage, naval surface ship, complex technical system, functional integrity scheme, ship fire simulation
- P.A. Zubkov. Evaluation of fire safety of ship premises using software tools for automated structural and logical modeling. Part 1// Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 99**
- The main possibilities of using logical-probabilistic methods in assessing the fire safety of ship premises are disclosed. The main results of using the apparatus of logical-probabilistic methods in combination with a mathematical model of the development of a fire in premises are illustrated, which allow one to quantify the probabilistic characteristics of the fire safety of these premises, depending on the materials used. T.6. Fig.12. Bibliography 11 titles.
- UDC 57.022 **Keywords:** hull, marine fouling, factors, temperature, depth, intensity, salinity, protection
- V.R. Efremov. Biological fouling: factors of occurrence and methods of control//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 107**
- The factors of occurrence of biological fouling and methods of combating it are considered. Fig.1. Bibliography 3 titles.
- UDC 656.614.32 **Keywords:** stack, packaged lumber, tier, static stability angle, dynamic stability angle
- G.A. Pelekhov, A.A. Khokhlov. Analysis of the angles of static and dynamic stability of the stack with tiered fastening//Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 108**
- The angles of static and dynamic stability of a stack of packaged lumber transported by water transport on the deck are considered, and their comparative analysis is carried out depending on the used scheme of fastening the stack. T.3. Bibliography 7 titles.
- UDC 627.772 **Keywords:** water rescue, lifeguard, water rescue station, rescue service, rescue post
- V.N. Ilyukhin. Creation and development of a system for protecting the life of people at water bodies. On the occasion of the 150th anniversary of the VOSVOD of Russia// Morskoy vestnik. 2022. №2(82). P. 112**
- The historical aspects of the creation and development of a system for ensuring the safety and protection of people's lives in water bodies are considered. The role and place of the All-Russian Society for Water Rescue in the federal system of search and rescue in the waters are revealed. The key directions of development of the structural organizations of society are determined. Proposals have been formulated to improve the system for ensuring the safety and protection of people's lives at water bodies. Fig. 6. Bibliography 10 titles.
- UDC 629.5 **Keywords:** Peter I, Russian fleet, Admiralty shipyards, shipbuilding
- Peter I – the father of the Russian fleet//Morskoy vestnik. 2022. №2(82). P. 117**
- A reminder of the foundation of the Russian fleet by Emperor Peter the Great, the laying of the new capital of the Russian state and the shipyard - Admiralty. Fig.6.
- UDC 623.8. **Keywords:** Maritime Ministry, Maritime Technical Committee, Russo-Japanese War, technical condition, minesweeper, trawler, sea mines
- V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, V.E. Rudenko, I.A. Subbotin. Minesweepers of the Russian Imperial Fleet// Morskoy Vestnik. 2022. №2(82). P. 120**
- With the massive use of naval mines in the Russo-Japanese War, there was an urgent need to create special ships to combat them. The article highlights the problem of building special minesweeper ships for the Russian Imperial Navy. Fig. 5. Bibliography 8 titles.