

Морской



Вестник

№1(81)

М а р т

2 0 2 2

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



СУДПРОМКОМПЛЕКТ

WWW.SPK-K.RU

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОСТАВКА



30 лет
НА СЛУЖБЕ
ВМФ РОССИИ!

1992-2022



СОЗДАТЕЛЮ ОКЕАНСКОГО ФЛОТА РОССИИ В.Е. ЮХИНУ - 85 ЛЕТ

АО «Северное проектно-конструкторское бюро»,
контакт. тел. (812) 702 3005



20 февраля 2022 г. исполнилось 85 лет доктору технических наук, профессору, действительному члену Российской инженерной академии, Санкт-Петербургской инженерной академии, Академии истории науки и техники Владимиру Евгеньевичу Юхину. Родился он в Ленинграде. После окончания в 1960 г. Ленинградского кораблестроительного института был направлен Минсудпромом СССР в «Северное ПКБ» (в то время – ЦКБ-53). В 1961 г. окончил Ленинградский механический институт.

Владимир Евгеньевич прошел все этапы конструкторской карьеры от инженера-конструктора 2-й категории до начальника–генерального конструктора ведущего в нашей стране бюро по проектированию боевых надводных кораблей основных классов.

По проектам, разработанным под руководством и при участии В.Е. Юхина, построено более 100 крупных боевых кораблей, составляющих основу отечественного надводного ВМФ, и 15 гражданских судов. Все они соответствуют лучшим зарубежным образцам своего класса или превосходят их. И в этом – большая заслуга Владимира Евгеньевича, который принимал участие не только в создании, но и испытаниях многих кораблей различных классов с отработкой на них новых видов вооружения и военной техники.

В 70-е гг. в «Северном ПКБ» впервые в практике мирового надводного кораблестроения началось создание тяжелого атомного ракетного крейсера «Киров» пр. 1144. Будучи заместителем главного конструктора этого проекта, В.Е. Юхин принял непосредственное участие в решении большого количества научных, технических, производственных и организационных вопросов, что позволило как реализовать на корабле большое количество оптимальных тех-

нических решений, так и своевременно сдать этот уникальный корабль военноморскому флоту.

С 1974 по 1987 г. в «Северном ПКБ» под руководством В.Е. Юхина разрабатывался аванпроект атомного корабля ПВО-ПРО пр. 11990 «Анчар», предназначенного для боевого охранения атомных авианосцев и ракетных крейсеров.

Еще в 1977 г. Владимир Евгеньевич успешно защитил кандидатскую диссертацию, посвященную буксируемым гидроакустическим станциям переменной глубины.

Исключительные организаторские способности и деловые качества, умение объединить работу людей разных специализаций и коллективов, анализировать и обобщать проблемы надводного кораблестроения явились основанием для назначения В.Е. Юхина сначала начальником и главным конструктором (с 1979 по 2004 г.), а затем генеральным конструктором (с 2004 по 2014 г.) «Северного ПКБ». В этот период в полной мере проявился его талант руководителя и организатора.

Конец 70-х и 80-е гг. – это время наиболее интенсивного проектирования и строительства боевых надводных кораблей за всю историю нашей страны. Именно в этот период В.Е. Юхин возглавил проектирование, строительство, испытания и сдачу кораблей 3-го поколения: тяжелых атомных ракетных крейсеров (пр. 1144), эсминцев (пр. 956), ракетных крейсеров (пр. 1164), больших противолодочных кораблей (пр. 1155 и пр. 11551), сторожевых ко-

раблей (пр. 1135), фрегатов для ВМС Республики Индия (пр. 61Э).

Участие в решении научно-технических и конструкторских проблем позволило Владимиру Евгеньевичу научно обобщить полученный опыт. В 1988 г. он защитил докторскую диссертацию на тему «Создание кораблей 3-го поколения, итоги проектирования, строительства, испытаний и сдачи. Основные направления работ по созданию кораблей следующих поколений». Теоретические результаты этого исследования позволили наметить научно обоснованную программу НИР и ОКР на ближайшие годы.

В 1984–1987 гг. под руководством В.Е. Юхина «Северное ПКБ» разработало документацию и участвовало в реставрации и восстановлении крейсера «Аврора». В этот же период Владимир Евгеньевич возглавил Координационный совет ленинградских предприятий при Обкоме КПСС по восстановлению уникального памятника отечественного кораблестроения.

В конце 80-х гг. в бюро велась концептуальная разработка уникального пограничного сторожевого корабля ледового класса. В 90-е гг., несмотря на сокращение расходов на оборону и возникшие в связи с этим трудности, благодаря организаторским способностям В.Е. Юхина, совместной работе с судостроительными заводами, было закончено строительство тяжелого атомного ракетного крейсера «Петр Великий» пр. 11442 и большого противолодочного корабля «Адмирал Чабаненко» пр. 11551.

Продолжение см. на с. 6.



Тяжелый атомный ракетный крейсер пр.11442

Морской Вестник



№ 1 (81)

м а р т

2 0 2 2

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

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

Сопредседатели:

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

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. Ирютин, 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

- Создателю океанского флота России В.Е. Юхнину – 85 лет* 1
- В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичев.** *Кораблестроительная активность двенадцати стран мира в 2021–2022 гг.* 7
- А.В. Шляхтенко, И.Г. Захаров.** *Когда приходит новое поколение* 13
- А.Л. Мелконян, Д.А. Николаев.** *Совместная вибрация судового корпуса и его конструктивных модулей с малым районом сопряжения* 17
- В.Г. Грачёв.** *Учет интерференции корабельных волн при математическом моделировании волнового сопротивления движению корабля* 22

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Д.А. Полянская, В.И. Трусов.** *Метод временной противокоррозионной защиты нержавеющей стали* 31

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

- К.Г. Голубев.** *К вопросу создания пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод перспективных многоцелевых надводных кораблей* 33
- А.З. Багерман, С.А. Заводов.** *Оценка коррозионной стойкости жаропрочных сплавов на основе никеля* 37
- В.К. Румб, Хтоо Наинг Ауунг.** *Идеологические предпосылки перехода от расчетов прочности к прогнозированию долговечности судовых машин и механизмов* 40
- А.Р. Тогуниц, С.Л. Анчиков, Л.И. Вишневецкий.** *О технических требованиях к электрической передаче мощности на соосные гребные винты противоположного вращения* 43
- В.В. Фогель, В.Ю. Селякова, В.Н. Грачев.** *Параллельное включение преобразователей энергии применительно к системам компенсации корабельных магнитных полей* 49
- П.С. Андреев.** *Перспективы применения воздухонезависимой энергетической установки с газотурбинным двигателем замкнутого цикла* 53
- В.К. Румб, Хтоо Наинг Ауунг.** *Определение остаточной долговечности деталей с трещинами судовых машин и механизмов* 57
- А.А. Халывкин, С.А. Макеев, А.И. Мащенко, Д.О. Шацков, А.Я. Ауслендер.** *Об одном подходе к расчету поперечных колебаний судового валопровода с учетом износа дейдвудного подшипника* 62
- А.Н. Дядик, Д.М. Кучинский, Д.О. Глазырина.** *Задача управления системой очистки рабочего газа с использованием электронасоса с регулируемой производительностью* 65
- С.Г. Черный, А.С. Соболев, А.А. Зинченко, Е.Г. Зинченко, К.С. Чернобай.** *Эксплуатации судового оборудования на платформе интеллектуальных систем для повышения надежности работы систем автоматизации* 68
- М.А. Баранов, М.Ю. Хохлов.** *Исследование коалесцирующих свойств материалов в составе сепаратора очистки нефтесодержащих льяльных вод СНЛВ-5* 73
- П.Г. Федоров, Е.В. Пименов.** *Сопряжения компонентов и систем*



пропульсивного комплекса научно-исследовательского судна.....	77
Л. Г. Кузнецов, Ю. Л. Кузнецов. АО «Компрессор» 145 лет не сдает передовых позиций в области производства компрессоров для всех типов судов и кораблей	81
О. В. Савченко – 55 лет.....	85

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Г. А. Коржавин, Ю. Ф. Подоплёкин, О. Г. Мальцев. Адаптация и обучение распознающей системы при байесовской классификации излучающих целей	87
А. С. Корнев, А. С. Скрыпка, С. П. Хабаров. Автономное судовождение на действующих судах	92
А. Г. Шнекторов, А. С. Корнев. Авторулевой «Румб»	95
Д. С. Сверчков, С. В. Головкин. Цифровые имитаторы систем в роли контрольно-проверочной аппаратуры	99
П. А. Зубков. Логико-вероятностная оценка противопожарной безопасности корабельных помещений при использовании инновационных технических решений компании «МКС».....	103
К 70-летию К. Ю. Шилова	109

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

В. Г. Данилова. Технологии диагностики газопровода «Северный поток-2»	110
П. С. Войцеховский, И. С. Гарматенко. Методика определения нормативных показателей кораблевождения и безопасности плавания.....	112

НА КНИЖНОЙ ПОЛКЕ

Р. Н. Караев. Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений	114
---	-----

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

<i>От Ленинградского Адмиралтейского объединения до Адмиралтейских верфей</i>	115
С. В. Федулов, Б. А. Барбанель, Д. А. Соловьев, А. А. Васильева. Строительство линкоров для Российского императорского флота в межвоенный период (1905–1914)	117

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

Б. А. Барбанелю – 85 лет.....	121
--------------------------------------	-----

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

И. А. Лещенко, И. В. Меркулов. 51-я ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания	123
С. Н. Ирютин. Круглый стол на тему «Петр Великий и российский флот»	127

Главный редактор

Э. А. Конов, канд. техн. наук
Зам. главного редактора
Д. С. Глухов
 Тел./факс: (812) 6004586
 Факс: (812) 3124565
 E-mail: morvest@gmail.com
 www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г. Н. Антонов, д-р техн. наук
А. И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.
Е. А. Горин, д-р эконом. наук
В. Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.
Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.
Д. В. Казунин, д-р техн. наук
Р. Н. Караев, канд. техн. наук
Ю. Н. Кормилицин, д-р техн. наук, проф.
А. И. Короткин, д-р техн. наук, проф.
П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.
П. И. Малеев, д-р техн. наук
Д. В. Никущенко, д-р техн. наук
Ю. Ф. Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., академик 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 № 310

Дата выхода в свет – 15.03.2022

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



№ 1 (81)
March
2022

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE

Editorial Council

Chairman

A.L. Rakhmanov, General Director
of JSC United Shipbuilding Corporation

Co-chairman:

M.V. Alexandrov, General Director JSC SSTC,

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

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 SPMD Malachite

V.V. Dudarenko, General Director

JSC Sudpromkomplekt

S.G. Filimonov, General Director

JSC Concern Morflot

E.T. Gambashidze, General Director

JSC Control Systems and Instruments

S.N. Iryutin, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

M.V. Ispolov, Director JSC CRIME

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 Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

I.M. Mukhutdinov, General Director

JSC Almaz Shipbuilding Company

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

A.G. Rodionov, General Director

JSC Sitronics KT

S.V. Savkov, General Director

JSC NE

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

V.V. Shatalov, General Director

JSC DO Vympel

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Avrora

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director

PJSC Vyborg Shipyard

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

G.R. Tsaturov, General Director 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

- The creator of the Russian ocean fleet V.E. Yukhnin – 85 years old*..... 1
- V.N. Polovinkin, A.B. Fomichev.** Shipbuilding activity of twelve countries
of the world in 2021–2022..... 7
- A.V. Shlyakhtenko, I.G. Zakharov.** When the new generation comes 13
- A.L. Melkonyan, D.A. Nikolaev.** Joint vibration of the ship's hull
and its structural modules with a small interface area 17
- V.G. Grachev.** Ship waves interference accounting in the wave
resistance mathematical modeling 22

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

- D.A. Polyanskaya, V.I. Trusov.** Method of temporary anticorrosive
protection of stainless steels 31

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- K.G. Golubev.** On the issue of creating a propulsion module built
into the shafting of promising multi-purpose surface ships..... 33
- A.Z. Bagerman, S.A. Zavodov.** Evaluation of the corrosion resistance
of nickel-based heat-resistant alloys..... 37
- V.K. Rumb, Htoo Naing Aung.** Ideological prerequisites for the transition from
strength calculations to predicting the durability of ship machines and mechanisms 40
- A.R. Togunjac, S.L. Anchikov, L.I. Vishnevsky.** On the technical requirements
for electrical power transmission to counter-rotating coaxial propellers 43
- V.V. Fogel', V.Yu. Selyakova, V.N. Grachev.** Parallel connection of energy
converters in relation to systems for compensation of ship's magnetic fields..... 49
- P.S. Andreev.** Prospects for the use of an air-independent power plant with a closed-
cycle gas turbine engine 53
- V.K. Rumb, Htoo Naing Aung.** Determination of the residual durability
of parts with cracks in ship machines and mechanisms 57
- A.A. Khalyavkin, S.A. Makeev, A.I. Mashchenko, D.O. Shatskov, A.Ya. Aus-
lender.** On one approach to the calculation of transverse vibrations
of a ship's shafting, taking into account the wear of the stern tube bearing 62
- A.N. Dyadik, D.M. Kuchinsky, D.O. Glazyrina.** The task of controlling
the working gas cleaning system using an electric pump of unregulated capacity 65
- S.G. Cherny, A.S. Sobolev, A.A. Zinchenko, E.G. Zinchenko, K.S. Chernobay.**
Operation of ship equipment on the platform of intelligent systems to improve
the reliability of automation systems..... 68
- M.A. Baranov, M.Yu. Khokhlov.** Investigation of the coalescing properties
of materials in the composition of the SNLV-5 oily bilge water separator 73
- P.G. Fedorov, E.V. Pimenov.** Interfacing of components and systems
of the propulsion complex of a research vessel 77
- L.G. Kuznetsov, Yu.L. Kuznetsov.** Compressor JSC for 145 years has not lost its



leading position in the production of compressors for all types of vessels and ships	81
O. V. Savchenko is 55 years old	85

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

G. A. Korzhavin, Yu. F. Podoplyokin, O. G. Mal'tsev. Adaptation and training of a recognition system on the Bayesian classification of a radiating targets	87
A. S. Korenev, A. S. Skrypka, S. P. Khabarov. Autonomous navigation on existing ships	92
A. G. Shpektorov, A. S. Korenev. Rumb autopilot	95
D. S. Sverchkov, S. V. Golovkin. Digital system simulators as test equipment	99
P. A. Zubkov. Logical and probabilistic assessment of the fire safety of ship premises using innovative technical solutions of the MKS company	103
To the 70 th anniversary of K. Yu. Shilov	109

OPERATION OF WATER TRANSPORT, SHIP NAVIGATION

V. G. Danilova. Diagnostics technologies of the Nord Stream 2 gas pipeline	110
P. S. Voitsekhovskiy, I. S. Garmatenko. Methodology for determining the normative indicators of navigation and navigation safety	112

ON A BOOKSHELF

R. N. Karaev. Techniques and technology of underwater service of marine oil and gas structures	114
---	-----

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

From the Leningrad Admiralty Association to the Admiralty Shipyards	115
S. V. Fedulov, B. A. Barbanel', D. A. Solov'yov, A. A. Vasilyeva. Construction of battleships for the Russian Imperial Navy in the interwar period (1905–1914)	117

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

B. A. Barbanel is 85 years old	121
--------------------------------------	-----

IN THE MARITIME ASSEMBLY

I. A. Leshchenko, I. V. Merkulov. 51 st Assembly of the Saint-Petersburg Maritime Assembly	123
S. N. Iryutin. Round table on the topic «Peter the Great and the Russian Navy»	127

Editor-in-Chief

E. A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D. S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G. N. Antonov, D. Sc.

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

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

E. A. Gorin, D. Sc.

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

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

D. V. Kazunin, D. Sc.

R. N. Karaev, Ph. D.

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

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

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

P. I. Maleev, D. Sc.

D. V. Nikushchenko, D. Sc.

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

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

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

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

K. V. Rozhdestvensky, D. Sc., Prof.

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

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T. I. Ilyichiova

Design, imposition

S. A. Kirillov, V. L. Kolpakova

Editorial office

office 13N, 84, Nab. r. Moyki, 190068, St. Petersburg

The magazine is registered by RF Ministry of Press, TV and Radio Broadcasting and Means of Mass Communications, Registration Certificate ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

office 13N, 84, Nab. r. Moyki, 190068, St. Petersburg

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya 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 ПМ 467) or directly at the editor's office via the Morvest Publishing House

Printed by Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation 500. Order № 310

Publication date – 15.03.2022

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



Ракетный крейсер пр. 1164

Руководитель современного уровня, Владимир Евгеньевич Юхнин, проводя грамотную управленческую и техническую политику, основанную на обеспечении социально-трудовой стабильности, сумел в тяжелое время экономических потрясений сохранить коллектив профессионалов и единомышленников. В рамках программы «Возрождение Российского флота» под его руководством и при непосредственном участии было найдено и реализовано направление конверсионной деятельности бюро, по проектам которого были построены для различных инозаказчиков сухогрузы, балкеры, танкеры-химовозы.

Под его же руководством в рамках Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 гг.» были разработаны концептуальные проекты научно-исследовательских судов в интересах Министерства промышленности и торговли и Министерства природных ресурсов и экологии РФ. Под общим научным руководством Владимира Евгеньевича на основе разработанной им методологии системного проектирования определены архитектурные облики новых высокотехнологичных и наукоемких судов для обеспечения экологического мониторинга окружающей среды и разведки месторождений углеводородов на российском арктическом шельфе.

Благодаря В. Е. Юхнину «Северное ПКБ» внесло значительный вклад в развитие военно-технического сотрудничества с другими странами. Бюро спроектировало и обеспечило строительство боевых кораблей для Индии, Китая и Вьетнама. В 2003 г. В. Е. Юхнин в составе коллектива был

награжден Комитетом РФ по военно-техническому сотрудничеству с иностранными государствами национальной премией первой степени «Золотая идея» за вклад в разработку экспортно-ориентированной продукции.

Бюро под руководством Владимира Евгеньевича завоевало большую авторитет у судостроителей, в ВМФ, инозаказчиков и сегодня является ведущим предприятием в отечественном кораблестроении.

Особое внимание В. Е. Юхнин всегда уделял работе с молодыми специалистами. Заведая отделением кафедры «Кораблестроение» СПбГТУ при «Северном ПКБ» (с 1990 г.), он передавал накопленный опыт и знания будущим корабелам. Был председателем редакционно-издательского совета по подготовке учебной и научно-технической литературы по судостроению при Центральном правлении

НТО им. акад. А. Н. Крылова.

Владимир Евгеньевич – автор большого количества научных трудов и изобретений, среди которых – 32 статьи, 2 книги, 2 цикла лекций, 12 монографий и 16 изобретений.

Владимир Евгеньевич Юхнин на протяжении многих лет являлся членом Морского Собрания Санкт-Петербурга, ученого Совета ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, Научно-технического совета Военно-промышленной комиссии при Правительстве РФ. Почетный гражданин Кировского района Санкт-Петербурга.

В. Е. Юхнин награжден орденом «За заслуги перед отечеством» IV степени (2006 г.) и III степени (2012 г.); орденом Октябрьской революции (1988 г.); Орденом Трудового Красного Знамени (1985 г.); орденом «Знак Почета» (1977 г.); Орденом Почета (2003 г.); медалями «За доблестный труд»; «В ознаменование 100-летия со дня рождения В. И. Ленина» (1970 г.); «300 лет Российскому флоту» (1996 г.); «В память 300-летия Санкт-Петербурга» (2003 г.); Почетной грамотой Правительства РФ (2002 г.). В 2003 г. ему присвоено звание «Почетный судостроитель», в 2021 г. вручен Почетный знак «За развитие судостроения».

Коллектив «Северного ПКБ» от всей души поздравляет Владимира Евгеньевича с днем рождения и желают крепкого здоровья, долголетия и процветания!

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру доброго здоровья, благополучия и успехов во благо Отечества! ■



Фрегат пр. 11356

КОРАБЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ДВЕНАДЦАТИ СТРАН МИРА В 2021-2022 гг.

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАН, науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
А.Б. Фомичев, д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой СПбГМТУ, контакт. тел. (812) 415 6582, +7 (926) 238 7838

Признано, что статус морской державы определяется количеством, суммарным водоизмещением и боевым потенциалом кораблей основных классов, уже находящихся в боевом составе ВМС, а также теми усилиями, программами и планами, которые государство принимает и прилагает для сохранения и укрепления своего морского могущества. Как правило, кораблестроительная активность любого государства выражается прежде всего в суммарном полном водоизмещении кораблей основных классов, находящихся в постройке, их числе и динамике строительства в течение прошедшего года и отражается в количестве заложенных кораблей, сроках сдачи заказов военному флоту и продолжительности их постройки.

К кораблям основных классов, как правило, относятся атомные и неатомные подводные лодки надводным водоизмещением более 1000 т, авианосцы (АВ), крейсера (КР), эскадренные миноносцы (ЭМ), фрегаты (ФР), корветы, литеральные боевые корабли (КРВ, ЛБК), десантные корабли (УДК – универсальные десантные корабли, ДВКД – десантные, вертолетные корабли-доки, ТДК – танкодесантные корабли) водоизмещением более 2000 т. В таблицах, предложенных А. Шишкиным, представлены максимальные показатели кораблестроительной активности 12 стран мира на 1.01.2021 г. и 1.01.2022 г., а также статистические данные об основном корабельном составе на 1.01.2022 г., разделенные на четыре группы (лиги В, I, II, III).

В настоящее время в военном кораблестроении преобладают два ярко выраженных глобальных тренда, влияющих на изменение облика военных действий на море.

Первый тренд – появление новых технологий, освоение космического и информационного пространства, а также расширяющееся применение роботизированных боевых систем. Второй – это новый подход к военной стратегии, выражающийся в смещении приоритетов с технического совершенства на эффективность взаимодействия, замещение массовости скоростью и эффективностью (скорость реагирования, развертывания, перемещения, оптимизация состава сил и др.).

Наряду с Российской Федерацией, ключевыми игроками в области военного кораблестроения являются США, некоторые страны Западной Европы (Великобритания, Франция, Германия, Испания, Италия, Швеция), Азии (Китай, Япония, Республика Корея, Индия) и Южной Америки (Бразилия).

США, будучи одним из лидеров военного кораблестроения, задают основные тренды в развитии ВМС, обладая

сбалансированным, наиболее технически развитым и пока самым многочисленным военным флотом.

Характерными чертами судостроения США являются:

- долгосрочное планирование кораблестроительных программ и высокая степень их выполнения;
- системное, непрерывное финансирование поисковых работ, НИОКР, строительства кораблей и судов;
- тесное взаимодействие военных и финансовых ведомств, научных организаций и судостроительных фирм при планировании и выполнении программ строительства кораблей.

Указанные характеристики позволяют поддерживать ВМС США в составе, необходимом для выполнения боевых задач в Мировом океане, регулярно обновлять состав кораблей, развивать кадровый потенциал, вести поисковые работы для определения прорывных направлений и научно-исследовательские работы по созданию научно-технического задела.

Дополнительно отмечается устойчивая тенденция к сокращению типа-ряда кораблей ВМС США, что приводит при строительстве крупных серий надводных кораблей и подводных лодок к сокращению стоимости каждого нового построенного корабля.

В странах Западной Европы (Великобритания, Франция, Германия, Испания, Италия, Швеция) развитие ВМС осуществляется комплексно и в тесном взаимодействии в рамках ЕС и НАТО для защиты общих интересов.

Независимую политику в области военного кораблестроения проводят страны Азии. Например, Китай нацелен на формирование к 2050 г. вооруженных сил, способных одерживать победу в конфликтах любого масштаба и продолжительности.

Индия, претендуя на роль лидера в бассейне Индийского океана, последовательно создает мощный флот с авианосными силами, атомными и неатомными подводными лодками, десантными кораблями и морской авиацией. По плану руководства Индии его ВМС к 2030 г. должны стать третьими в мире как по количеству кораблей, так и по их суммарному водоизмещению.

Строительство ВМС активно ведет Республика Корея. В Южной Америке задачу обеспечения регионального лидерства намерены решать ВМС Бразилии.

Ниже в табл. 1–3 приведены статистические данные о составах ВМС ведущих стран мира.

В Европе имеется около 150 крупных верфей, из которых 40 – активные игроки на мировом рынке морских коммерческих судов, боевых надводных кораблей и подводных лодок. В судостроении и судоремонте Европы занято более 120 тыс. человек.

Европейская судостроительная отрасль является мировым лидером в строительстве сложных судов, таких как круизные и рыболовецкие суда, мегаяхты, суда обеспечения и др. Она также занимала сильные позиции в строительстве надводных кораблей, подводных лодок и других вспомогательных судов для ВМС. Кроме того, европейские страны – мировой лидер по изготовлению широкого ассортимента морского оборудования – от силовых установок, крупных дизельных двигателей и экологических систем безопасности до оборудования и техники для погрузочно-разгрузочных работ и электроники. Однако сегодня европейское судостроение частично утратило свои позиции на мировой арене, в основном из-за более высокой стоимости работ и ценового демпинга со стороны конкурентов. Страны Европы, имеющие развитое судостроение (среди них – Германия, Италия, Великобритания, Нидерланды и др.), проигрывают Азиатскому региону в массовом строительстве транспортных судов, а в последнее время и в военном кораблестроении. Три государства – Китай, Южная Корея и Япония – обеспечивают 91% всех мировых поставок нового

Россия уверенно входит в тройку лидеров мирового (военного) кораблестроения. В то же время военный флот России отстает от ВМС США по суммарному полному водоизмещению основного корабельного состава в 4,4 раза, а от ВМС НОАК – в 1,4 раза, уступает им по полному водоизмещению строящихся кораблей на 19% и 7% соответственно.

В настоящее время на стадии проектирования и строительства в конструкторских бюро и на верфях РФ находят-

Таблица 1

Статистические данные о строящихся кораблях основных классов ВМС 12 ведущих морских держав на 01.01.2021 г.

Лига	Место	Страна	Дполн (т)	За год	Доля	Кол-во	Дср (т)	2020 перед./залож. (т)	Срок	ПЛАРБ	ПЛА	ПЛ	АВ(Л)	КР	ЭМ	ФР	КРВ	УДК	Д(В)КД	ТДК
В	1 2	Китай	388 500	-14,2	39,3	36	10 800	94 500 30 400	2,7	1	3	6	1	1	17	5		3		
	2 1	США	371 900	-5,7	10,5	29	12 800	74 500 52 000	2,0	1	7		1		6		10	1	2	
	3 3	Россия	309 600	32,5	40,1	33	9 400	33 400 109 300	4,9	4/3	7	4				6	5	2		2
I	4 6	Индия	144 200	13,0	55,1	20	7 200	3 500 20 100	4,8	3		4	1		4	8				
II	5 5	Британия	63 800	-9,4	17,4	7	9 100	6 600 0	4,2	2	3					2				
III	6 12	Турция	48 200	6,9	44,6	10	4 800	0 3100	2,8			5					4	1		
	7 4	Япония	44 700	2,1	9,8	9	5 000	13 300 14 200	1,7			4			1	4				
	8 8	Ю. Корея	40 300	-4,0	20,2	7	5 800	1 700 0	3,6			3				3		1		
	9 7	Франция	39 500	0,0	15,6	8	4 900	4 600 4 600	4,5		5					3				
	10 9	Италия	33 000	0,0	19,6	1	33 000	0 0	2,9										1	
III	11 11	Испания	10 000	0,0	9,0	4	2 500	0 0	12,9			4								
	12 10	Австралия	0	-100,0	0,0	0	—	0 0	0,0											

Таблица 2

Статистические данные о строящихся кораблях основных классов ВМС 12 ведущих морских держав на 01.01.2022 г.

Лига	Место	Страна	Дполн (т)	За год	Доля	Кол-во	Дср (т)	2021 перед./залож. (т)	Срок	ПЛАРБ	ПЛА	ПЛ	АВ(Л)	КР	ЭМ	ФР	КРВ	УДК	Д(В)КД	ТДК
В	1 1	США	389 100	4,7	11,0	31	12 600	15 500 32 800	2,6	1	8		1	1	7		10	1	2	
	2 2	Китай	338 000	-13,0	29,3	34	9 900	109 700 59 200	2,4	2	4	4	1		10	11		2		
	3 3	Россия	315 500	1,9	39,0	36	8 800	35 500 41 400	4,6	5/3	5	5				6	8	2		2
I	4 6	Индия	148 300	2,8	57,2	20	7 400	10 600 14 700	4,5	3		2	1		3	11				
II	5 5	Британия	70 700	10,8	19,6	8	8 800	0 6 900	4,7	2	3					3				
	6 12	Турция	48 200	0,0	44,6	10	4 800	0 0	3,8			5					4	1		
	7 9	Италия	46 400	40,6	28,1	3	15 500	0 13 400	1,6							2		1		
	8 4	Япония	42 600	-4,7	9,3	9	4 700	13 300 11 200	1,9			3				6				
	9 8	Ю. Корея	35 300	-29,8	15,9	10	3 500	26 000 11 000	2,3			4				6				
	10 7	Франция	33 500	-15,2	13,2	7	4 800	6 000 0	5,5		5					2				
III	11 11	Испания	10 000	0,0	9,0	4	2 500	0 0	13,9			4								
	12 10	Австралия	0	0,0	0,0	0	—	0 0	0,0											

Таблица 3

Статистические данные об основном корабельном составе ВМС 12 ведущих морских держав на 01.01.2022 г.

Лига	№	Страна	Дполн (т)	За год	Дср (т)	Кол-во	% нов.	Возр.	Постр	ПЛАРБ	ПЛАРК	ПЛА	ПЛ	АВ	АВЛ	КР	ЭМ	ФР	КРВ	УДК	ДВКД	ДКД	ТДК	
В	1	США	3 550 900	-0,2	15 900	224	22,8	21,0	3,62	14	4	50	11		2	91		21	9	11	11			
I	2	Китай	1 154 100	Ю,1	6 000	191	44,0	12,8	3,57	6		9	56	2		37	35	8	1	8			29	
	3	Россия	808 400	2,2	7 200	112	26,8	24,9	7,21	10	10	14	23	1		5	11	7	10					21
II	4	Япония	459 500	0,7	6 600	70	27,1	17,8	3,11				21	4		8	28	6		3				
	5	Британия	361 500	-1,2	11 000	33	24,2	19,3	5,75	4		7		2		6	12				2			
	6	Индия	259 200	-1,0	5100	51	29,4	20,2	8,10	1			16	1		4	23				1		5	
	7	Франция	254 500	0,4	8 800	29	31,0	17,6	6,00	4		6		1		2	13		3					
	8	Ю. Корея	222 500	13,4	4 300	53	39,6	14,8	3,79				19			3	11	10	2					8
III	9	Италия	165 300	-1,в	5 900	28	35,7	19,7	4,34				8	2		2	10	3		3				
	10	Австралия	123 400	0,0	6 500	19	26,3	16,4	5,06				6			3	8		2					
	11	Испания	111 600	0,0	7 000	16	6,3	24,9	3,45				2				11		1	2				
	12	Турция	108 000	0,0	2 900	37	13,5	27,0	4,51				12				8	12						5

ся целый ряд новых проектов атомных подводных лодок — стратегических и многоцелевых, универсальных и больших десантных кораблей, многоцелевых кораблей, к которым относятся корветы и фрегаты. В обозримой перспективе эти направления, скорее всего, и останутся приоритетными.

С учетом активного освоения Арктической зоны, обеспечения безопасности функционирования Северного морского пути и отечественных гидрографических исследований Арктики важнейший сегмент программы отечественного военного кораблестроения, включающий в себя оснащение ВМФ России ледокольными кораблями и судами обеспечения ледового класса, будет в числе приоритетного развития в 2022 г. и ближнесрочной перспективе. Например, как следует из сообщения департамента информации и массовых коммуникаций Министерства обороны Российской Федерации, ледокол «Евпатий Коловрат» войдет в состав ВМФ России в 2022 г.

В 2021 г. по водоизмещению заложённых и переданных флоту кораблей российское военное кораблестроение впервые превзошло американское. Однако, по продолжительности постройки кораблей отечественное кораблестроение (корабли в среднем строятся 4,6 года) находится на уровне Индии и Британии (4,5 и 4,7) и опережает Францию (5,5). По словам главы РФ, к 2027 г. доля современных кораблей должна достигнуть 70%.

России сегодня нужны заводы для постройки крупнотоннажных кораблей, она не может владеть только прибрежным флотом. Нам нужно создавать океанские корабли — крейсера, фрегаты, готовить почву для строительства авианосцев. К 2030 г., по словам главы Минобороны Сергея Шойгу, для ВМФ России будут построены 34 корабля и подводные лодки, 20 из них — корабли дальней морской зоны. Такой подход обеспечивает преемственность мероприятий действующей до 2027 г. и разрабатываемой до 2033 г. новой государственной программы вооружения. Главнокомандующий ВМФ России адмирал Николай Евменов заявил, что в 2022 г. Российский ВМФ будет действовать во всех районах Мирового океана.

В то же время проектирование и постройка ряда российских кораблей отстают от графиков, а также сопровождаются перерасходом ранее запланированных на их создание средств. В результате этого серии кораблей наиболее важных проектов пришлось сократить в объемах или сдвинуть сроки их выполнения на несколько лет.

Основные причины задержек и перерасхода средств связаны со следующими факторами:

- долгосрочное снижение российского потенциала в области военно-морских НИОКР;
- неспособность России оперативно модернизировать свою судостроительную отрасль, которая считается одной из наиболее отсталых, нуждающихся в структурных реформах и пострадавших от западных санкций отраслей российской оборонной промышленности;
- бюджетные ограничения, которые в последние годы еще больше усугубились в связи со спадом в российской экономике.

Несколько слов о прогнозе состояния ВМФ РФ на 2020–2030 гг. Для прогноза были использованы данные, основанные на официальном заявленном российскими планах строительства боевых кораблей и подводных лодок. В течение 15 лет в РФ военный флот, а именно его подводные силы, получат особое развитие. В то же время программа строительства нового поколения больших надводных кораблей потребует особого внимания.

Данные, приведенные в табл. 4, отражают перспективы развития отечественных подводных сил.

После завершения строительства шести-восьми АПЛ пр. 885М планировалась постройка атомных подводных лодок нового типа. Построенные ПЛ

пр. 636.3 и пр. 677 послужат промежуточным решением для поддержания боевого состава ВМФ до вступления в строй подводных кораблей проекта «Калина».

Перспективы изменения состава крупных надводных кораблей ВМФ РФ отражены в табл. 5.

Программу модернизации крейсеров ВМФ РФ планировалось завершить к 2025 г., эсминцы пр. 1155 будут модернизированы с продлением срока службы до начала 2030-х гг. Общее количество фрегатов пр. 22350 (пр. 22350М) постоянно уточняется.

Ожидается, что общее количество малых боевых кораблей в ближайшие 15 лет останется примерно на нынешнем уровне (см. табл. 6).

По плану, российские вертолетоносцы пр. 23900 усилят ВМФ в 2028 г. (см. табл. 7). К этому времени завершится строительство первого универсального десантного корабля (УДК) «Иван Рогов» пр. 23900.

В обозримом будущем основная мощь флота будет заключаться в его подводных силах. Уверенно можно сказать, что в ближайшие 10–15 лет ВМФ будет сохранять достаточный потенциал для защиты своих морских границ. Он также будет достаточно силен, чтобы представлять собой потенциальную угрозу для любого военного флота стран НАТО.

Таблица 4

Планы развития отечественного подводного флота на 2020–2030 гг.

Проект	2020	2025	2030
667БДР	0	0	0
667БДРМ	6	5-6	0-2
955 «Борей»/955А «Борей-А»	6	8-10	10-12
945 и 945А (Sierra I & II), 671 РТМ (Victor III)	0	0	0
949А (Oscar)	6	6	4-6
971 (Akula)	6	6	4-6
885 «Ясень»/885М «Ясень-М»	2-3	6-8	6-8
Новый тип ПЛАРК	0	4-6	6-10
877 (Kilo)	10-15	5-10	0
636.3 (Improved Kilo)	6	6	6
677 (Lada)	3	3	3
«Калина»	0	4-6	6-10

Таблица 5

Планы постройки крупных надводных кораблей на 2020–2030 гг.

Проект	2020	2025	2030
1143.5 (Kuznetsov CV)	1	1	1
1144.2 (Kirov CGN)	1	2-3	2-3
1164 (Slava CG)	2	3	3
956 (Sovremennyi DDG)	0	0	0
1155/11551 (Udaloy DDG)	8	7	4-5
23560 (Lider DDG)	0	0-1	4-6
1135 и 1135М (Krivak I & II FFG)	0-2	0	0
11540 (Neustrashimy FFG)	2	2	1-2
11356 (Admiral Grigorievich FFG)	3-5	3-6	3-6
22350 (Admiral Gorshkov FFG)	2-4	4-6	8-10

Планы обновления малых боевых кораблей на 2020–2030 гг.

Проект	2020	2025	2030
1124 (Grisha FFC)	18-20	8-10	0
1331M (Parchim FFC)	7	5-7	0-3
20380, 20385, 20386 (Steregushchy FFC)	12-14	20-24	20-24
22160 (Vasily Bykov FFC)	4-6	6-12	12-15
11661 (Gepard FFL)	2	2	2
12411 (Tarantul PFG)	13-15	8-10	0-3
12341 (Nanuchka PFG)	8-10	0-4	0
1239 (Bora PFG)	2	2	2
21630 (Buyan PG)	3	3	3
21631/21635 (Buyan-M/Sarsar PFG)	12-14	20-24	30-32

Таблица 7

Планы развития десантных кораблей

Проект	2020	2025	2030
775 (Ropucha LST)	12-15	8-10	0
1171 (Alligator LST)	2-4	0	0
11711 (Ivan Gren LST)	2	2	2
Новый проект БДК	0-1	2-3	6-8
Проект вертолетоносца 23900	0	0	2-3

Новое поколение российских кораблей позволит флоту устанавливать новые типы крылатых ракет большой дальности по модульной системе, используя самые разные платформы. Таким образом, в краткосрочной и среднесрочной перспективе сил и средств ВМФ РФ будет достаточно для выполнения основных задач.

В целом в 2020–2022 гг. активно строят свои ВМС (ВМФ) только четыре страны из 12 (США, Китай, Россия и Индия), остальные в основном поддерживают установленную численность боевого состава своих флотов.

Коротко остановимся на состоянии военного кораблестроения, отмеченных выше государств.

США. В 2021 г. были заложены: 1 ударная АПЛ «Вирджиния» IV, 2 ЭМ типа «Арли Бёрк» (IIA и III серий), 2 ЛБК (КРВ); в 2020 г. – ПЛАРБ «Колумбия», 2 АПЛ типа «Вирджиния» IV, ЭМ типа «Арли Бёрк» серии IIA, 3 ЛБК (КРВ).

На 1.01.2022 г. в постройке находились: ПЛАРБ типа «Колумбия», 8 АПЛ типа «Вирджиния» серии IV, АВ типа «Джеральд Р. Форд» («Джон Ф. Кеннеди»), ЭМ (КР) типа «Зумвальт», 7 ЭМ типа «Арли Бёрк» (5/2 мод. IIA/III), УДК типа «Америка», 2 ДВКД типа «Сан-Антонио», 6/4 ЛБК (КРВ) типа «Фридом»/«Индепенденс».

Китай. В 2020 г. были заложены: АПЛ пр. 093В, 2 ПЛ пр. 039D; 5 ФР пр. 054А. В 2021 г. заложены: 2 ПЛАРБ пр. 096, АПЛ пр. 093В, 6 ФР пр. 054А;

На 1.01.2022 в постройке находились: 2 ПЛАРБ нового пр. 096, АПЛ нового пр. 095, 3 АПЛ пр. 093В, 4 ПЛ пр. 039D; АВ пр. 003, 4 ЭМ пр. 055, 6 ЭМ пр. 052D 3-й серии, 11 ФР пр. 054А, 2 УДК пр. 075.

Россия. В 2021 г. были заложены: 2 ПЛАРБ пр. 955А, 2 ПЛ пр. 636.3, КРВ пр. 20385, 2 КРВ пр. 20380 (III); в 2020 г. – 2 ПЛАРК пр. 885М, 2 ФР пр. 22350 (II), 2 УДК пр. 23900.

В постройке на 1.01.2022 г. находились: 5 ПЛАРБ пр. 955А, 3 ПЛАСН с БППА «Посейдон» пр. 09852, 09851 и 09853, 5 ПЛАРК пр. 885М, 2 ПЛ пр. 677.1, 3 ПЛ пр. 636.3, 2 ФР пр. 22350 мод. I, 4 ФР пр. 22350 мод. II, КРВ пр. 20386, 2 КРВ пр. 20385, 5 КРВ пр. 20380 мод. III, 2 УДК пр. 23900, 2 ТДК пр. 11711 мод. II.

Индия. В 2021 г. заложены: ФР типа «Нилгири» и 2 ФР типа «Талвара» мод. III (в Индии); в 2020 г. – 3 ФР типа «Нилгири».

В постройке на 1.01.2022: 3 ПЛАРБ типа «Арихант» (1/2 мод. I/II); 2 ПЛ типа «Калвари» («Скорпен»), АВ пр. 71 «Викрант», 3 ЭМ пр. 15В «Вишакхатнам»; 7 ФР пр. 17А «Нилгири»; 4 ФР пр. 11356 «Талвар» мод. III

(2 достраиваются в России, 2 строятся в Индии).

Британия. В 2021 г. был заложен ФР типа «Сити», в 2020 г. закладок не было.

В постройке на 1.01.2022: 2 ПЛАРБ типа «Дредноут», 3 АПЛ типа «Астыют», 3 ФР типа 26 «Сити».

Турция. В постройке на 1.01.2022 г. находились: 5 ПЛ типа 214 «Реис», 4 ФР типа TF-100 «Иstanbul» и УДК «Анадолу» типа «Хуан Карлос I». В 2021 г. закладок не было; в 2020 г. заложен ФР типа «Иstanbul».

Италия. В постройке на 1.01.2022: УДК «Триест» и 2 ФР типа «Бергамини», заложены в 2021 г.

Япония. В постройке на 1.01.2022: 3 ПЛ типа «Тайгэй» (29SS) и 6 ФР типа «Могами» (30FFM). В 2021 г. заложены 2 ФР «Могами»; в 2020 г. – ФР типа «Тайгэй» и 2 ФР типа «Могами».

Ю. Корея. В постройке на 1.01.2022: 2 ПЛ типа KSS-III мод. I, 2 ПЛ типа KSS-III мод. II, 6 ФР типа FFX-II «Тэгу». В 2021 г. заложены 2 KSS-III мод. II и ФР типа «Тэгу»; в 2020 г. закладок не было.

Франция. В постройке на 1.01.2022: 5 АПЛ типа «Сюффрен» («Барракуда»), 1 ФР типа «Аквитания», 1 ФР типа FDI. В 2021 г. закладок не было.

Испания. В постройке на 1.01.2022: 4 ПЛ типа S-80 «Исаак Пераль». В 2020–2021 гг. закладок не было.

Австралия. В постройке на 1.01.2022 не было ни одного корабля (второй год подряд). Закладок не было с 2015 г., что характеризует австралийское кораблестроение, как самое застойное из 12 ведущих морских держав. В 2022 г., планируется закладка головного ФР типа «Хантер».

В последние годы в Бразилии активно и планомерно создается научно-промышленная база судостроения. Расширяются возможности предприятий отрасли по выпуску готовых образцов военно-морской техники, двигателей и судового оборудования. Вместе с тем развитие судостроительной промышленности Бразилии находится в непосредственной зависимости от финансово-экономических возможностей страны. В случае реализации намеченных планов она станет первым государством в Латинской Америке, которое сможет самостоятельно строить подводные лодки, а также присоединится к «престижному клубу» обладателей АПЛ.

Особый интерес представляет уникальная активность китайского военного кораблестроения. 21 января 2022 г. был опубликован доклад Конгрессу США о модернизации ВМС Китая «Модернизация военно-морского флота Китая: последствия для возможностей ВМС США – предыстория и вопросы для Конгресса».

В нем, в частности, подчеркивается, что в эпоху возобновления соперничества великих держав усилия Китая по модернизации НОАК, в том числе ВМС, стали главным направлением оборонного планирования и бюджета США. Китайские ВМС особенно динамично развива-



China Naval Modernization: Implications for U.S. Navy Capabilities—Background and Issues for Congress

Updated January 20, 2022

Numbers of Chinese and U.S. Navy Ships, 2020–2040
Figures for Chinese ships are from U.S. Navy, reflecting data as of October 2020

Ship type	2020	2025	2030	2040	2040 change from 2020
Ballistic missile submarines	4	6	8	10	+ 6
Nuclear-powered attack submarines	6	10	14	16	+ 10
Diesel attack submarines	47	47	46	46	-1
Aircraft carriers	2	3	5	6	+4
Cruisers and destroyers	41	52	60	80	+39
Frigates and corvettes	102	120	135	140	+38
LHA-type amphibious assault ships	0	4	4	6	+ 6
LPD-type amphibious ships	7	10	14	14	+7
LST-type amphibious tank landing ships	30	24	24	15	-15
TOTAL of types shown above	239	276	310	333	+94
TOTAL number of U.S. Navy battle force ships	297	n/a	n/a	n/a	n/a

Source: For Chinese navy ships: U.S. Navy data provided to CRS by Navy Office of Legislative Affairs, reflecting data as of October 26, 2020. Notes: «n/a» means not available.

ются в течение последних 25 лет, начиная с 1990-х гг. Сегодня, по утверждениям военных аналитиков, ВМС НОАК стали грозной военной силой не только в ближнем морском регионе Китая, но и в дальней морской зоне, включая западные части Тихого, Индийского океанов, а также воды вокруг Европы.

Считается, что ВМС Китая представляют собой серьезную проблему для США при достижении и поддержании во время войны контроля, например, в западной части Тихого океана. В докладе отмечается, что это первая подобная проблема, с которой ВМС США столкнулись после окончания холодной войны. ВМС Китая в настоящее время являются по сути ключевым элементом китайского вызова США как ведущей военной и морской державы в западной части Тихого океана.

Некоторые американские наблюдатели выражают озабоченность или даже тревогу по поводу темпов строительства кораблей Китаем и тенденций расширения его оперативных и стратегических возможностей. Усилия Китая по модернизации ВМС включают в себя широкий спектр программ приобретения кораблей, самолетов и оружия, а также улучшения в области технического обслуживания и логистики, разработки новой военно-морской доктрины, дальнейшего повышения качества персонала, его образования и обучения, проведения массовых комплексных учений. Усилия по модернизации НОАК, в том числе по модернизации ВМС, в первую очередь направлены:

- на развитие возможностей для решения ситуации с Тайванем военным путем, если это необходимо;
- на достижение контроля или господства над приморским регионом Китая, особенно в Южно-Китайском море;
- на обеспечение права Китая регулировать иностранную военную деятельность в своей 200-мильной морской исключительной экономической зоне (ИЭЗ);
- на защиту торговых морских коммуникаций Китая (SLOC), особенно тех, которые связывают его с Персидским заливом;
- на уменьшение влияния США в западной части Тихого океана;
- на утверждение статуса Китая как ведущей региональной державы и крупнейшей мировой державы.

Специалисты считают, что в соответствии с этими целями Китай стремится, чтобы его ВМС «были способны действовать в составе китайских сил по пресечению доступа/запрещению территории (A2/AD) – сил, которые могут сдерживать вмешательство США в конфликт в прибрежных водах Китая,

региона Тайваня или какой-либо другой либо задержать прибытие интервенционных сил США или снизить их эффективность».

Дополнительно в задачи ВМС Китая включает проведение операций по обеспечению безопасности на море (в том числе борьбу с пиратством), эвакуацию китайских граждан из зарубежных стран при необходимости и проведение операций по оказанию гуманитарной помощи/реагированию на стихийные бедствия (HA/DR).

В последние годы ВМС США приняли ряд действий, чтобы противостоять усилиям Китая по модернизации его флота. В частности, планами руководства ВМС США предусматривается:

- перемещение большей части ВМС США в Тихий океан (на Тихий океан направлены самые боеспособные новые корабли и самолеты);
- поддержание или увеличение операций общего присутствия, тренировок и развивающих учений, а также взаимодействие и сотрудничество с союзными и другими ВМС в Индо-Тихоокеанском регионе;
- увеличение планируемый в будущем размера ВМС, в первую очередь по числу кораблей малого и среднего водоизмещения;
- расширение или ускорение многочисленных программ разработки новых военных технологий и приобретения новых кораблей, самолетов, беспилотных транспортных средств и оружия;
- разработку новых оперативных концепций (новых способов применения сил флота и корпуса морской пехоты) для противодействия китайским морским силам A2/AD;
- перевод в ближайшие годы ВМС США к более распределенной архитектуре, которая будет включать

меньшую часть более крупных кораблей, большую часть меньших кораблей и значительно более широкое использование беспилотных транспортных средств.

Вопрос для Конгресса в представленном докладе заключается в том, адекватно ли ВМС США реагируют на усилия Китая по модернизации военно-морского флота.

Динамика роста ВМС НОАК в 2020–2040 гг. отражена в табл.8.

Таким образом, одними из важнейших приоритетов политики государства в области обеспечения безопасности, требующими неотложного практического решения в интересах экономического развития и безопасности, должны стать защита и реализация ее национальных интересов в Мировом океане.

Стратегическая цель применения ВМФ в мирное время заключается в создании и поддержании в океанских районах, морских зонах и прилегающих к ним континентальных районах благоприятной обстановки, надежно обеспечивающей национальную безопасность и защиту национальных интересов России во всех сферах. При возникновении кризисной ситуации, угрожаемого периода целью применения ВМФ будет участие в проведении эффективного комплекса сдерживающих действий военного характера по снижению возникшей напряженности и предотвращению агрессии против России и ее союзников, проводимых наряду с комплексом мер политико-дипломатического и экономического характера.

В военное время роль ВМФ заключается во внесении максимального вклада в действия вооруженных сил по скорейшему пресечению агрессии против Российской Федерации и ее союзников на наиболее выгодных для нее условиях. ■

Аля поддержания и развития требуемого Российской Федерацией уровня боевых возможностей военно-морского флота необходимо непрерывное обновление корабельного состава. Замена устаревшей технологии производства и модернизация ее базы облегчают появление кораблей нового поколения, т. е. семейства кораблей нового проекта (проектов), идущих на смену действующим кораблям того же назначения. Понятно, что новое поколение в силу общего технического прогресса должно существенно отличаться от кораблей предыдущего поколения по технико-экономическим показателям: надежности, функциональным возможностям и другим характеристикам.

Вместе с тем в последние десятилетия под поколением все чаще понимают систему объектов, в том числе кораблей, в которых реализована какая-то единая научно-техническая идея и которые характеризуются общностью функциональных свойств, конструктивных и технологических принципов. Иными словами, в этом понимании новое поколение появляется не в силу неизбежного процесса развития, а только тогда, когда возникает достаточно масштабная новая задача. При внимательном рассмотрении этих двух подходов к определению поколения можно заметить, что они не только дополняют друг друга, но, порой, находятся в некотором противоречии. Попробуем разобраться в этом и понять, не влечет ли это противоречие более далеких последствий, чем простая полисемия.

Обращаясь к истории развития нашего флота, можно вспомнить, что в первом послевоенном десятилетии кораблестроение велось по программе, предусматривающей создание новых кораблей и достройку кораблей, заложенных до войны и находившихся в консервации. Только в 1948 г. в состав флота стали поступать надводные корабли послевоенной постройки – эсминцы пр. 30бис (рис. 1), которые сегодня относят к первому поколению.

Надводные корабли второго поколения создавались в нашей стране, начиная с 1962 г. Это ракетные крейсера пр. 1134, большие противолодочные корабли пр. 61 (рис. 2) и др.

В этот период были определены главные направления использования достижений научно-технической революции при создании кораблей. К этому времени отечественная промышленность освоила производство ракетного вооружения, более совершенных радиолокационных и гидроакустических станций, корабельных вертолетов, атомных и газотурбинных энергетических установок и пр.

КОГДА ПРИХОДИТ НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ

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



Рис. 1. Эскадренный миноносец пр. 30бис

К 1973–1985 гг. относится этап создания надводных кораблей третьего поколения. Его представляли ракетные крейсера (пр. 1144, 1164), эскадренные миноносцы (пр. 956), большие противолодочные корабли (пр. 1155), малые ракетные и противолодочные корабли и ракетные катера (пр. 1241 «Молния» и др.) (рис. 3). Важным фактором в определении технической политики строительства флота этого периода стала борьба с подводными лодками и авиа-

носцами, боевая служба кораблей в удаленных от баз районах. Накопленный опыт использования кораблей на боевой службе существенно повлиял на различные стороны теории и практики военного кораблестроения. Выявилась необходимость в более интенсивном использовании кораблей, увеличении дальности и продолжительности их походов, повышении надежности. Возросло значение задач обеспечения боевой устойчивости. Стала очевидной потребность в со-



Рис. 2. Большой противолодочный корабль пр. 61М



Рис. 3. Ракетный катер пр. 12417

вершенствовании средств обнаружения и целеуказания, развития систем автоматизации, улучшения условий обитания экипажей.

Основными предпосылками к появлению надводных кораблей третьего поколения стали крупные достижения науки и техники в области создания новых ударных ракетных и многоканальных зенитных ракетных комплексов, средств поражения подводных лодок. Появились новые достижения в области корабельной энергетики, новое радиоэлектронное вооружение, средства связи, боевые информационно-управляющие системы, корабельные самолеты. Качественный скачок произошел и в области защиты кораблей по физическим полям.

В целом серийное строительство кораблей первых поколений достаточно хорошо совпадало с этапами развития техники, технологий производства. Однако все убыстряющиеся темпы научно-технического прогресса приводили к быстрому моральному устареванию оружия, техники и кораблей, поэтому при переходе к четвертому поколению (пр. 22350, пр. 20380) по мере создания более совершенных образцов корректировались и частично изменялись принятые кораблестроительные программы. В результате корабли, спроектированные методами конца прошлого века, смогут прослужить еще 10–15 лет, однако корабли новых проектов, созданные им на замену при тех же расходах, будут иметь более широкие боевые возможности. При этом снизится средний возраст корабельного состава, будет стимулироваться развитие промышленного производства. Нако-

нец, удастся избавиться от характерных проблем при поддержании в технической готовности устаревающей техники.

Понятие «поколение кораблей» тесно связано с понятием «жизненного цикла», временем, которое проходит от зарождения нового корабля до его списания из состава флота. Время же жизни поколения кораблей определяется с момента вступления в строй первого корабля нового поколения до времени завершения жизненного цикла последнего корабля этой серии. При этом корабль состоит из многих составляющих: систем, устройств, комплексов, средств, каждое из которых также имеет свой жизненный цикл. Эти циклы заканчиваются в разное время, так что практически при строительстве каждого серийного корабля возникает необходимость обновления того или иного комплекса или системы. Такая частичная модернизация во время серийного строительства, иногда называемая вынужденной, рано или поздно приводит к накоплению модернизационных изменений и качественному скачку – появлению кораблей нового поколения. (Характерным примером строительства длинной серии со значительными объемами частичной модернизации является постройка эсминцев ВМС США типа «Arleigh Burke»).

В целом, предполагается, что для обеспечения конкурентоспособности корабельного состава того или иного поколения его заменяют на основе качественного изменения технологий существующей генерации. При этом закон смены поколений подразумевает не только закономерность ка-

чественного изменения технологии, но и ряд специальных закономерностей: циклического изменения объемов и специализации производства; многостадийного развития технологических систем; скачкообразного изменения производственных мощностей в результате освоения техники и технологии нового поколения.

Смена поколений техники вызывает необходимость технологического перевооружения производства данной продукции. Эта зависимость связана с необходимостью технологического обеспечения новых качественных свойств образцов и преодолением возникающей разбалансировки производственных мощностей предприятий, осваивающих производство данной техники.

Таким образом, появлению новых поколений техники предшествует возникновение принципиально новых задач, которые не могут быть решены с помощью существующей технологии.

Лавинообразное ускорение научно-технического прогресса нашло отражение в ином аспекте рассматриваемой проблемы. Коль скоро появление нового поколения связано исключительно с новыми возможностями образцов вооружения или техники, то оно, это поколение, может появляться по мере создания таких образцов. Такое понимание нового поколения уже не связано с жизненным циклом корабля, а является, скорее, попыткой показать продвинутость проекта. При таком подходе главным становится не оптимальная смена поколений развивающейся системы, а своевременно продвигаемая реклама, заявляющая о рождении нового поколения. Так, например, судя по появляющимся публикациям, главным для заявленного «шестого» поколения боевых самолетов должны стать крейсерский гиперзвук, оптический камуфляж и опциональное наличие пилота, т. е. предполагается создавать часть машин беспилотными.

В качестве издержек нового явления можно отметить возникающее иногда стремление «придержать» плановую замену поколений в ожидании рождения новой «идеи», на базе которой оно могло бы появиться. Нередко такое ожидание переходит в оправдание отсутствия инновационной политики, направленной на создание конкурентоспособных проектов кораблей. Похожая ситуация сложилась при планировании разработки пр. 26 и пр. 31 ВМС Великобритании, идущих на замену фрегатов пр. 23. Вывод из состава флота старых фрегатов планировался еще на ко-

нец первого десятилетия нынешнего века, но в связи с тем, что разработка новых проектов затянулась и флот сможет получить головной корабль не ранее 2022 г., срок службы кораблей пр. 23 неоднократно продлевался. В результате, чтобы не столкнуться с резким сокращением корабельного состава, вывод последнего корабля пр. 23 планируется не ранее 2030 г.

Такой подход, разумеется, не может быть признан успешным. Дело в том, что при этом не только не решается задача принятия в состав флота кораблей нового качества, но и нарушается порядок обновления корабельного состава флота в целом, который определяется программой военного кораблестроения, связанной с жизненным циклом кораблей каждого класса, сменяемостью поколений и регулированием темпов ввода в состав флота новых кораблей и вывода из него старых.

Наиболее характерными здесь являются схемы «двухпоколенческого» и «трехпоколенческого» состава (рис. 4). Речь идет о том, что все корабли, находящиеся в составе флота, можно разделить на те, строительство которых в настоящее время еще ведется, и те, строительство которых полностью завершено, а, возможно, и идет процесс их списания из состава флота по истечении срока службы.

При этом часть кораблей строящегося поколения уже сдана флоту, другая же часть еще находится на той или иной стадии строительства (для упрощения считается, что речь идет о строительстве кораблей какого-то одного проекта (новое поколение), а в составе флота находятся корабли,

построенные по различным проектам, но принадлежащие к тому же классу (типу), что и вновь строящиеся (плавающее поколение).

Чтобы поддерживать численность состава флота постоянным, надо, чтобы темп строительства кораблей нового поколения соответствовал темпам вывода из него кораблей старых проектов. При этом, если выводятся корабли только одного поколения (что соответствует современной практике), то и темп строительства кораблей старого поколения должен соответствовать темпам сдачи новых кораблей. И эта ситуация будет сохраняться достаточно долго, переходя от поколения к поколению. Приостанавливая или наращивая новое строительство или таким же образом регулируя темпы вывода из состава флота плавающих кораблей, можно определить тенденции развития или сокращения корабельного состава на перспективу (например, эсминцы пр. 051 ВМС Китая строились темпом менее одного корабля в три с половиной года, но уже следующее за ними поколение пр. 052 – более одного корабля в год). Сравнивая средний темп сдачи кораблей смежных поколений, можно построить прогнозную оценку корабельного состава по различным классам.

Особенности реализации концепций «трехпоколенческого» и «двухпоколенческого» составов определенным образом связаны с возможностями организации непрерывного или дискретного строительства кораблей.

При «трехпоколенческом» составе законченный цикл строительства охватывает три поколения кораблей таким образом, что одно поколение

строится, второе несет службу, во всяком случае до конца строительства нового поколения, а третье – старое поколение – выводится из состава флота (см. нижнюю часть рис. 4). При этом продолжительность законченного цикла составляет сумму срока службы корабля в составе флота и периода строительства серии кораблей. Характерной особенностью концепции «трехпоколенческого» состава является то, что для организации непрерывного строительства достаточно, чтобы время постройки серии кораблей было не меньше половины их срока службы. В противном случае строительство будет осуществляться дискретным способом (этот способ строительства в настоящее время наиболее характерен для европейских стран. Так, завершив в 2001 г. создание фрегатов типа «La Fayette», ВМС Франции приступили к строительству фрегатов следующего поколения типа «Aquitaine» только в 2015 г.).

Сокращение плавающих поколений повышает показатели флота по унификации, снижает средний возраст корабельного состава, облегчает задачи обучения экипажей, тылового обеспечения и тактического управления. Поэтому наиболее совершенным подходом к организации военного кораблестроения можно считать «двухпоколенческое» строительство флота. Эта концепция предполагает, что одно поколение кораблей строится, а другое (тем же темпом) выводится из состава флота (см. верхнюю часть рис. 4). При таком подходе вести непрерывное строительство придется так, чтобы период строительства кораблей нового поколения равнялся сроку их службы.

Подводя итог анализу существующих подходов к планированию смежных поколений кораблей, можно сказать, что смена поколений – это улица с двусторонним движением. Следствием строительства кораблей нового поколения для поддержания заданного среднего вымпельного состава без учета результатов научно-технического прогресса будет носить неупорядоченный характер вынужденной модернизации комплексов серийных кораблей. Строительство же кораблей нового поколения, исходя исключительно из реализации «новой идеи», будет нарушать ритмичность смены их поколений и вести к моральному устареванию корабельного состава. Только гармоничное сочетание обоих подходов на основе прогноза появления ключевых образцов техники нового поколения и планирования ввода в строй новых кораблей даст необходимый результат. ■

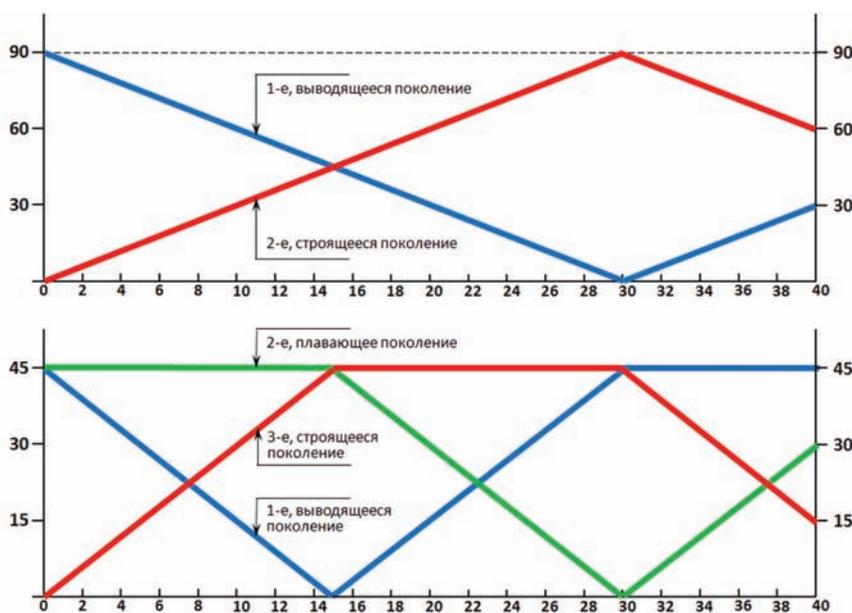


Рис. 4. Схема «двух-» и «трехпоколенческого» состава флота

При желании оценить влияние каких-либо судовых конструкций или установок (надстроек, рубок, полей перекрытий, паротурбинного агрегата, главного дизеля и т.п.) на параметры общей вибрации корпуса судна с середины прошлого века применялся следующий алгоритм: корпус судна моделировался эквивалентным брусом, а присоединяемый элемент – сосредоточенной массой (жестко либо упруго опечтой). Расчет выполнялся методом последовательных приближений: на первом этапе для эквивалентного бруса находилась амплитуда вибрации точки сопряжения, на втором этапе вычислялась опорная реакция, передаваемая корпусу от кинематического возбуждения присоединяемого элемента, на третьем – выполнялся расчет второго приближения вибрации эквивалентного бруса и так далее. Так, например, в работе [1] была сделана оценка влияния на общую вибрацию корпуса поля его днищевого перекрытия.

Выполненные расчеты показали не только количественное изменение параметров общей вибрации, но в некоторых диапазонах частот принципиальное изменение характера этих зависимостей.

Дальнейшая работа авторов в этом направлении позволила отказаться от организации процесса последовательных приближений за счет редукции инерционно-жесткостных характеристик модели, применяемой для судового корпуса. Так, для расчета параметров вибрации конструкций, обладающих существенно большей протяженностью вдоль некоторой оси (судовой валопровод, корпус судна и т.п.), удобно воспользоваться квазиодномерной моделью в виде последовательно соединенных однотипных конечных элементов [2, 3, 4, 6]. Особенно удобно такое представление корпуса судна на ранних стадиях его проектирования, когда еще нет полных данных о его конструкции, что затрудняет применение классического метода конечных элементов [4]. В этих работах была предложена физическая модель в виде пространственно-криволинейной упругой конструкции (ПККУК) и ее дискретного варианта – пространственно-криволинейной упругой дискретной системы (ПКУДС). Последняя представляла собой последовательность конечных элементов, соединенных обобщенными шарнирами деформаций (рис. 1).

Эти шарниры (рис. 2) допускают сдвиг в двух ортогональных (вдоль нормали n и бинормали b) и продольном (вдоль оси τ) направлениях, изгиб в двух ортогональных направлениях и кручение вокруг продольной оси элемента.

Каждый из элементов, в свою очередь, состоял из безмассового стержня заданной длины, жестко соединенного с твердым

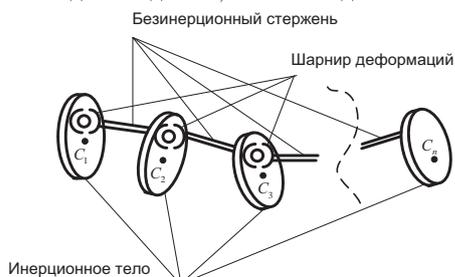


Рис. 1. Модель ПКУДС

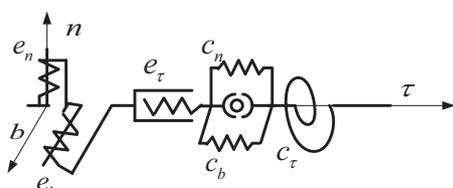


Рис. 2. Обобщенный шарнир деформаций

СОВМЕСТНАЯ ВИБРАЦИЯ СУДОВОГО КОРПУСА И ЕГО КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ С МАЛЫМ РАЙОНОМ СОПРЯЖЕНИЯ

А.Л. Мелкоян, канд. техн. наук, проф. СПбГМТУ,

Д.А. Николаев, канд. техн. наук,

контакт. тел. 8 (911) 911 6425, mel1950@mail.ru, D.Nikolaev@d-nik.de

телом, обладающим комплексом обобщенных инерционных характеристик (в связи с тем, что центр масс C такого тела в общем случае не лежит на линии отсчета, его матрица инерционных характеристик не имеет диагональной структуры). Кроме того, каждый из элементов может опираться на шесть (по числу обобщенных перемещений) независимых упругих опор, точки крепления которых к инерционному диску могут не совпадать ни между собой, ни с линией отсчета модели. Заметим, что с учетом квазистатической аналогии [2–4], реальная опора и масса идентичны по набору упругих характеристик (но с разным знаком жесткости).

Материал модели предполагается линейно-упругим, но с введением в него неупругих сопротивлений комплексностью инерционно-жесткостных характеристик [2–4]. Ввиду малости деформаций и перемещений при вибрации задача решается в геометрически линейной постановке. В качестве основной кинематической гипотезы, позволяющей свести задачу теории упругости к задаче строительной механики, принята гипотеза плоских сечений с поправкой на сдвиг.

Внешняя динамическая нагрузка на рассматриваемую линейную модель в виде ПКУДС предполагается периодической. Она может быть представлена гармоническим рядом. Действие каждой гармоники рассматривается отдельно, а общее решение получается суперпозицией частных. Такой подход вызван тем, что величины присоединенных масс жидкости зависят от формы вынужденных колебаний рассматриваемой конструкции, которая, в свою очередь, изменяется с изменением частоты возбуждения. Приложенная внешняя нагрузка в виде сосредоточенных или распределенных сил и моментов автоматически приводится к центрам инерционных дисков элементов. Анализ параметров вибрации (рассмотрение установившихся колебаний) позволяет перейти к квазистатическому варианту модели [2–4]. В этом случае модель представляет совокупность абсолютно твердых и безинерционных элементов, соединенных между собой и неподвижным основанием упругими связями, каждая из которых порождает усилия определенной структуры (пропорциональные смещению, скорости, ускорению). При этом, как уже говорилось, характеристики жесткости могут быть комплексными величинами. В частном случае, когда частота колебаний равна нулю, имеет место статический расчет параметров деформирования квазиодномерной модели.

В случае необходимости учета некоторого дополнительного фактора, усложняющего картину установившихся колебаний квазиодномерной модели (КМ), можно применить следующий подход [5]:

- проанализировать влияние этого фактора на модель (т.е. понять структуру дополнительных усилий); при этом дополнительные усилия условно разделить на три группы:
- к первой группе отнести слагаемые, прямо пропорциональные абсолютным и (или) относительным смещениям, скоростям и ускорениям. Действие слагаемых первой группы учесть модификацией модели, введя в нее дополнительные упругие связи (напомним, что зависимость дополнительного усилия от абсолютной скорости удобнее выполнить комплексностью инерционных характеристик,

а зависимость от относительной скорости - комплексностью характеристик жесткости);

- выделить слагаемые, которые можно учесть коррекцией внешней нагрузки, прикладываемой к квазистатической модели (слагаемые второй группы);
- формализовать структуру слагаемых, учесть действие которых модификацией квазиодномерной модели не удалось (слагаемые третьей группы).

Очевидно, что при реализации такого подхода влияние слагаемых первых двух групп при расчете параметров вибрации модифицированной модели выполняется автоматически. При наличии слагаемых третьей группы следует воспользоваться методом последовательных приближений.

В предлагаемой программе расчета параметров вибрации [6] в настоящее время уже реализована опция жесткого или упругого присоединения к инерционному диску (см. рис. 1) точечной массы и (или) точечного момента инерции; при этом инерционность массы может быть разной в различных направлениях. Для иллюстрации сказанного на рис. 3 изображено жесткое присоединение к инерционному диску КМ в виде точечной массы m .

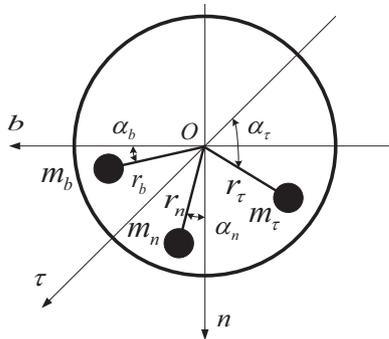


Рис. 3. Инерционный диск с дополнительными массами

Порождаемые в этом случае дополнительные усилия, являющиеся усилиями первой группы, учтены коррекцией величин инерционно-жесткостных характеристик квазиодномерной модели [3, 6] корпуса судна. Эта опция дополнительно позволяет при необходимости учесть наличие присоединенных масс жидкости, которые, как известно, различны при движении в разных направлениях.

Другой опцией программы [6] является реализация кинематического возбуждения (линейного или углового) в заданной точке квазиодномерной модели. Для этого в заданной точке устанавливается дополнительная опора, не позволяющая такой модели в этой точке смещаться во всех направлениях, кроме направления выбранного кинематического возбуждения. Технически это достигается заданием жесткостей пружин, формирующих дополнительную опору, на несколько порядков выше жесткостей других опор. Прикладывая единичное усилие ($Q_i = 1$ в случае линейного возбуждения либо $M_i = 1$ – в случае углового, $i = \tau, n, b$), вызывающее вибрацию в направлении кинематического возбуждения, по [6] получаем значения амплитуды вибрации вдоль разрешенного направления (w_i – в случае линейного возбуждения либо ϑ_i – в случае углового) и значения амплитуд опорных реакций (силы R_i и моменты M_i , где $i = \tau, n, b$). Очевидно, что кинематическое возбуждение, вызывающее единичную амплитуду линейной (угловой) вибрации, вызовет опорные реакции в w_i (либо в ϑ_i) раз меньше.

Таким образом, для организации кинематического возбуждения квазиодномерной модели с единичной амплитудой вибрации в заданной точке следует приложить к ней комплекс внешних усилий, равных и противоположно направленным рассчитанным выше опорным реакциям.

Желание рассчитать параметры совместной вибрации основной несущей конструкции (в нашем случае – корпус судна) и конструкции, присоединяемой к ней (в нашем слу-

чае – КМ), вызвало создание у [6] еще одной важной опции. Алгоритм ее реализации рассмотрим на примере решения плоской задачи о совместной вибрации судового корпуса и КМ с малым районом их сопряжения, если они оба моделируются квазиодномерными моделями.

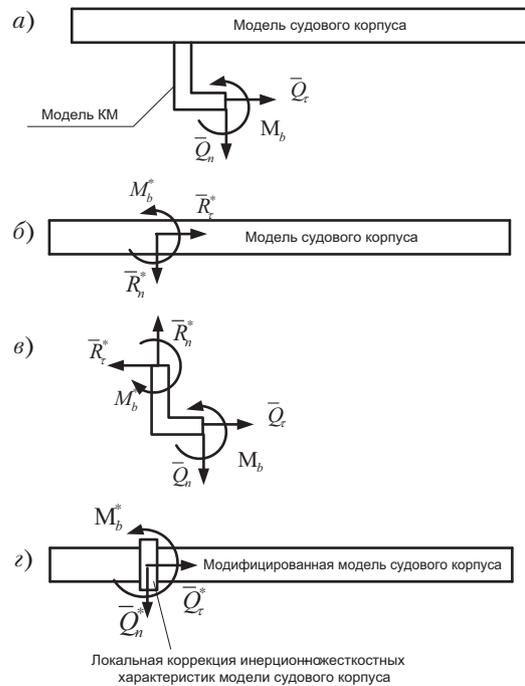


Рис. 4. Модель для совместной вибрации

При совместной вибрации (рис. 4, а) со стороны конструктивного модуля на судовой корпус должны передаваться некоторые реактивные усилия \bar{R} (R_τ, R_n) и M_b^* (рис. 4, б). Эти реакции могут быть представлены в виде суммы реакций, обусловленных приложением к КМ внешней нагрузки \bar{Q} (Q_τ, Q_n); M_b (на рис. 4, в эти реакции обозначены \bar{Q}^* (Q_τ^*, Q_n^*) и M_b^* , соответственно) и реакциями \bar{R} (R_τ, R_n) и M_b , обусловленными кинематическим возбуждением точки контакта с моделью судового корпуса, т.е.

$$\bar{R} = \bar{Q} + \bar{R}; M_b^* = M_b + M_b. \quad (1)$$

Поскольку судовой корпус для КМ является некоторой опорой, предварительно следует определить ее коэффициенты жесткости. Для этого на первом этапе к модели судового корпуса в точке сопряжения с КМ следует поочередно приложить единичные усилия ($N_\tau = 1, N_n = 1, M_b = 1$) и найти величины соответствующих смещений (w_τ, w_n, ϑ_b), имеющих место при заданной частоте вынуждающих воздействий ω . Очевидно, что вычисленные величины представляют собой динамические податливости модели судового корпуса в точке сопряжения с КМ. Жесткости соответствующих упругих связей, формирующих упругую опору для КМ в точке сопряжения, будут по отношению к податливостям обратными величинами.

Реакции \bar{Q}^* (Q_τ^*, Q_n^*) и M_b^* находятся как реакции модели КМ в точке сопряжения с моделью судового корпуса от действия на КМ гармонически изменяющейся с частотой ω внешней нагрузки \bar{Q} (Q_τ, Q_n) и M_b ; расчет выполняется, например, по программе из [6].

Очевидно, что найденные таким образом усилия являются для модели судового корпуса усилиями второй группы.

Теперь обсудим получение реакций \bar{R} (R_τ, R_n) и M_b , обусловленных кинематическим возбуждением точки контакта с моделью судового корпуса.

Зададим точке контакта линейное кинематическое возбуждение с единичной амплитудой вдоль оси τ . В результате соответствующих расчетов для модели судового корпуса получим комплект опорных реакций R_τ^*, M_b^* , а для модели

КМ – комплект опорных реакций R_{nt}^{**} , M_{bt}^{**} . Выполним аналогичные расчеты для единичного линейного кинематического возбуждения вдоль оси n , получим комплекты опорных реакций для модели корпуса R_{cn}^* , M_{bn}^* и модели КМ – R_{cn}^{**} , M_{bn}^{**} . Выполним аналогичные расчеты для единичного углового кинематического возбуждения относительно оси b , получим комплекты опорных реакций для модели корпуса R_{cb}^* , R_{nb}^* и модели КМ – R_{cb}^{**} , R_{nb}^{**} . Теперь запишем уравнения третьего закона Ньютона о равенстве сил действия и противодействия:

$$\begin{aligned} R_{ct}^* &= w_{ct} \cdot 0 + w_{cn} \cdot R_{cn}^* + \vartheta_b \cdot R_{cb}^* = -R_{ct}^{**} = -(w_{ct} \cdot 0 + w_{cn} \cdot R_{cn}^{**} + \vartheta_b \cdot R_{cb}^{**}); \\ R_{nt}^* &= w_{ct} \cdot R_{cn}^* + w_{cn} \cdot 0 + \vartheta_b \cdot R_{nb}^* = -R_{nt}^{**} = -(w_{ct} \cdot R_{cn}^{**} + w_{cn} \cdot 0 + \vartheta_b \cdot R_{nb}^{**}); \quad (2) \\ M_{bt}^* &= w_{ct} \cdot M_{bt}^* + w_{cn} \cdot M_{bn}^* + \vartheta_b \cdot 0 = -M_{bt}^{**} = -(w_{ct} \cdot M_{bt}^{**} + w_{cn} \cdot M_{bn}^{**} + \vartheta_b \cdot 0). \end{aligned}$$

Решение записанной системы уравнений позволяет найти для квазиодномерной модели корпуса судна амплитуды линейных и углового смещений точки сопряжения с КМ (w_{ct} , w_{cn} , ϑ_b), а также амплитуды усилий (R_{ct} , R_{nt} , M_b), обусловленных вибрацией точки сопряжения с КМ.

В общем случае, когда в точке сопряжения направления координатных осей несущей модели (τ^* , n^* , b^*) и КМ (τ^{**} , n^{**} , b^{**}) не совпадают, составляется матрица ориентации (матрица направляющих косинусов). Взаимную ориентацию ортов первой $O\tau^*n^*b^*$ и второй $O\tau^{**}n^{**}b^{**}$ систем осей можно задать таблицей направляющих косинусов $a_{ij} = \cos(\vec{e}_i^*; \vec{e}_j^{**})$, $e = \tau, n, b$, $i, j = 1, 2, 3$:

	τ^{**}	n^{**}	b^{**}
τ^*	a_{11}	a_{12}	a_{13}
n^*	a_{21}	a_{22}	a_{23}
b^*	a_{31}	a_{32}	a_{33}

Составленную из направляющих косинусов a_{ij} матрицу A называют *матрицей ориентации*, или *матрицей вращения*. Например, если оси b^* и b^{**} тождественно совпадают (см. рис. 4), т.е. имеет место поворот вокруг неподвижной оси b^* на угол $\varphi = -90^\circ$ (положительное направление вращения – против часовой стрелки), эта матрица имеет вид

$$A = \begin{bmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Из курса высшей алгебры известно, что все матрицы вращения обладают двумя полезными свойствами:

$$\det A = 1, \quad A^{-1} = A^T,$$

где A^{-1} – матрица, обратная A , A^T – транспонированная матрица A .

Матрицы вращения позволяют получить удобный вид записи связей между столбцами ортов координатных систем:

$$\begin{bmatrix} \tau^* \\ n^* \\ b^* \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \tau^{**} \\ n^{**} \\ b^{**} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \tau^{**} \\ n^{**} \\ b^{**} \end{bmatrix} = A^T \begin{bmatrix} \tau^* \\ n^* \\ b^* \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Аналогичные соотношения могут быть записаны для проекций любых векторов, в том числе векторов опорных реакций и смещений:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} R_{ct}^* \\ R_{nt}^* \\ R_b^* \end{bmatrix} &= -A \begin{bmatrix} R_{ct}^{**} \\ R_{nt}^{**} \\ R_b^{**} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} M_b^* \end{bmatrix} = -A \begin{bmatrix} M_b^{**} \end{bmatrix}; \\ \begin{bmatrix} w_{ct}^* \\ w_{cn}^* \\ w_b^* \end{bmatrix} &= A \begin{bmatrix} w_{ct}^{**} \\ w_{cn}^{**} \\ w_b^{**} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \vartheta_b^* \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} \vartheta_b^{**} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (5a)$$

В компактной форме соотношения могут быть записаны как

$$\{R^*\} = -A\{R^{**}\}; \{M^*\} = -A\{M^{**}\}; \{w^*\} = A\{w^{**}\}; \{\vartheta^*\} = A\{\vartheta^{**}\}. \quad (5b)$$

Теперь учтем запись в матричной форме соотношений между проекциями усилий и смещений:

$$\begin{aligned} \{R^*\} &= \{w^*\} [C1^*] + \{\vartheta^*\} [K1^*] = -A\{R^{**}\} = \\ &= -A(\{w^{**}\} [C1^{**}] + \{\vartheta^{**}\} [K1^{**}]) = \\ &= -A(A^T \{w^*\} [C1^{**}] + A^T \{\vartheta^*\} [K1^{**}]); \\ \{M^*\} &= \{w^*\} [C2^*] + \{\vartheta^*\} [K2^*] = -A\{M^{**}\} = \\ &= -A(\{w^{**}\} [C2^{**}] + \{\vartheta^{**}\} [K2^{**}]) = \\ &= -A(A^T \{w^*\} [C2^{**}] + A^T \{\vartheta^*\} [K2^{**}]), \end{aligned} \quad (6)$$

где элементы квадратных матриц $[C1^*]$, $[C2^*]$, $[K1^*]$, $[K2^*]$ есть величины опорных реакций в точке сопряжения для несущей модели при соответствующих кинематических возбуждениях с единичной амплитудой, а элементы квадратных матриц $[C1^{**}]$, $[C2^{**}]$, $[K1^{**}]$, $[K2^{**}]$ – для модели КМ.

Соотношения (6) дают условия равенства усилий действия и противодействия для общего случая. Естественно, что эта запись будет существенно более громоздкой, чем (2), однако и она позволяет рассчитать для квазиодномерной модели корпуса судна амплитуды линейных и угловых смещений точки сопряжения с КМ, а также амплитуды усилий, обусловленных вибрацией точки сопряжения с КМ.

Для частного случая сопряжения, изображенного на рис. 4, будем иметь

$$\begin{bmatrix} R_{ct}^* \\ R_{nt}^* \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} R_{ct}^{**} \\ R_{nt}^{**} \end{bmatrix}; \quad M_b^* = M_b^{**}; \quad \begin{bmatrix} w_{ct}^* \\ w_{cn}^* \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} w_{ct}^{**} \\ w_{cn}^{**} \end{bmatrix}; \quad \vartheta_b^* = \vartheta_b^{**},$$

где $A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$.

Окончательный расчет совместной вибрации выполняется для квазиодномерной модели судового корпуса по [6] с учетом приложения в точку сопряжения двух комплектов дополнительных усилий. Первый из них обусловлен приложенными к КМ внешними усилиями (\bar{Q}^* (Q_{ct}^* , Q_{nt}^*) и M_b^*), а второй (R_{ct}^* , R_{nt}^* , M_b^*) – усилиями инерционной природы. Очевидно, что при отсутствии внешней нагрузки, действующей на КМ, условия первого комплекта будут отсутствовать.

Желание избежать решения системы совместных уравнений и получить более общую КМ привело авторов к разработке следующего варианта алгоритма расчета. Суть варианта – в модификации инерционно-жесткостных свойств квазиодномерной модели (т.е. оснащении модели дополнительными, ранее не присущими ей, свойствами). У такой модели дополнительные инерционные усилия, обусловленные наличием КМ, в процессе ее колебаний должны создаваться автоматически. Алгоритм такого учета изложен в [5]. Получаемая в этом случае квазиодномерная модель (см. рис. 4, в) обладает более широким набором инерционно-жесткостных характеристик, чем модель из [6], за счет чего может быть применена при решении более широкого класса задач о расчете параметров установившихся колебаний. В настоящее время соответствующая программа, являющаяся дальнейшим обобщением [6], находится в стадии разработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чувиговский В.С., Мелкоян А.Л. Совместная вынужденная вибрация судового корпуса и его перекрытий // Судостроение. – 1986. – №8. – С.5-6.
2. Чувиговский В.С. Численные методы расчетов в строительной механике корабля. – Л.: Судостроение, 1976.
3. Мелкоян А.Л., Николаев Д.А. Квазиодномерные модели для анализа параметров вибрации судового корпуса на ранних стадиях его проектирования. – СПб.: Моринтех. – 2019. – №2(44). – Т.1. – С.45–51.
4. Александров В.Л., Матлах А.П., Поляков В.И. Борьба с вибрацией на судах. – СПб.: Мор Вест, 2005.
5. Мелкоян А.Л., Николаев Д.А. Модификация инерционно-жесткостных характеристик модели как путь решения задач о ее установившихся колебаниях. – СПб.: Моринтех, 2020. – №1(47). – Т.3. – С.12–19.
6. PC-Welt (Эффективное решение. Расчет изогнутых балок и рам). – <http://www.d-nik.de>, 20.04.2020. ■

О течественное кросс-платформенное программное обеспечение «Система моделирования морских операций» (СММО) предназначено для качественной подготовки специалистов боевых частей и экипажей надводных кораблей и катеров ВМФ и БОХР ПС ФСБ РФ и непрерывного поддержания их профессиональных навыков с использованием комплексных тренажеров. Для этого необходимо с высокой степенью достоверности имитировать процессы движения корабля и управления им, являющиеся ядром математической модели системы.

В программной подсистеме математического моделирования СММО [12, 13, 18] моделируется взаимодействие движущегося корабля с взволнованной водной поверхностью. Для полноценного математического моделирования необходимо всесторонний учет возникающих при движении корабля физических эффектов. Одной из составляющих математической модели является расчет составляющих полного сопротивления воды движению корабля. При этом также учитывается изменение волнового сопротивления из-за интерференции продуцируемых корабельных волн.

Во время движения по воде корабль формирует две группы расходящихся и поперечных волн – носовую и кормовую. Точки образования поперечных волн находятся в районе форштевня и ахтерштевня корабля, а длина волн зависит от скорости его движения. В районе кормовой оконечности поперечные волны носовой группы накладываются на поперечные волны кормовой группы и образуют совокупную систему интерферированных волн. Эта интерференция может быть благоприятной, когда волновой рельеф за кормой сглаживается, или неблагоприятной, когда высота волн за кормой возрастает. Это зависит от суммарной высоты носовой и кормовой поперечных волн.

Энергия волн, а значит, и волновое сопротивление пропорциональны квадрату их амплитуд, поэтому интерференция корабельных волн на различных скоростях хода оказывает существенное влияние (как негативное, так и положительное) на общее сопротивление движению корабля и, как следствие, на мощность, затрачиваемую кораблем на ее преодоление.

В комплексном тренажере по подготовке корабельных специалистов учет изменяющегося со скоростью корабля волнового сопротивления движению важен для принятия решения лицами, управляющими кораблем, в том числе определяющими режим работы пропульсивной установки.

Существующие методы моделирования взаимодействия движущегося

УЧЕТ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ ВОЛН ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ КОРАБЛЯ

*В. Г. Грачев, канд. техн. наук,
вед. науч. сотрудник АО НИИ «Центрпрограммсистем»,
контакт. тел. +7 911 988 36 56, grachev@cps.tver.ru*

объекта с жидкостью с использованием вычислительной гидродинамики [16] позволяют с высокой точностью воспроизвести процессы волнообразования, однако они требуют существенных вычислительных затрат и не могут быть использованы в системах, работающих в реальном времени.

В существующих навигационных тренажерах моделирование волнового сопротивления, как правило, выполняется обобщенно в составе остаточного сопротивления, без учета эффекта интерференции [1].

Поэтому для СММО актуально создание нового метода учета интерференции корабельных волн при математическом моделировании волнового сопротивления движению корабля, который должен:

- обладать быстродействием, позволяющим использовать его в моделирующем комплексе СММО;
- иметь возможность простой настройки для достижения адекватного моделирования волнового сопротивления реального корабля-прототипа.

ИСТОРИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Создателем первой теории сопротивления движению тел в жидкой среде был Исаак Ньютон. В 1687 г. он опубликовал ее в труде «Математические начала натуральной философии» [6]. Ньютон предложил теорию ударов и определил квадратичную форму зависимости сопротивления от скорости.

Леонард Эйлер на смену ударной теории Ньютона разработал теорию обтекания и получил формулу зависимости сопротивления воды от площади миделя, удлинения корпуса корабля, плотности жидкости и квадрата скорости его движения. Свои выводы он изложил в 1749 г. в трактате «Морская наука или трактат по постройке и управлению кораблями» [4].

В 1871 г. Вильям Фруд начал свои опыты по определению сопротивления воды движению кораблей в построенном им опытовом бассейне. Его экспе-

риментальная теория позволила выделить из полного сопротивления судна сопротивление трения и остаточное сопротивление, включающее волновое. Фруд определил, что волновое сопротивление есть осциллирующая функция скорости [3].

В 1881 г. сын Вильяма Фруда – Роберт Эдмунд Фруд – в своем докладе на XXII сессии Королевского института морских архитекторов «Об основных явлениях волнового сопротивления судов» объяснил осциллирующую зависимость волнового сопротивления от скорости корабля эффектом интерференции носовых и кормовых корабельных волн [2].

Теоретическое решение задачи о корабельных волнах было получено в 1887 г. лордом Кельвином (Вильямом Томсоном) с использованием теории бесконечно малых волн [8]. Его исследования показали, что корабельные волны образуют клин, состоящий из двух систем. Одна из них представляет собой поперечные волны, а вторая – расходящиеся.

В 1898 г. Джон Генри Мичелл разработал линейную теорию волнового сопротивления судна [5]. Полученный им интеграл связывает величину волнового сопротивления с уравнением обводов корпуса судна. В своей работе Мичелл в результате математических выводов пришел к результату, повторяющему эффект интерференции носовых и кормовых волн, описанный ранее Робертом Фрудом.

Статья Мичелля оставалась незамеченной исследователями около 30 лет, пока в 1926 г. Уилфред Виглей в Англии не обратил внимание на ее фундаментальное значение и, как и Георг Вейнблом в Германии, подтвердил теоретические результаты Мичелля экспериментально путем испытаний серии различных моделей.

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ЯВЛЕНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ ВОЛН

Как было показано в работе Лорда Кельвина, движущийся корабль можно

условно представить как два перемещающихся центра давления — положительного в носу и отрицательного в корме. Каждая из этих волнообразующих точек формирует группу расходящихся и поперечных волн, как показано на рис. 1.

Расходящиеся волны обеих групп образуют параллельные друг другу ряды коротких волн, не выходящих за пределы сектора с вершиной в центре давления. Образующие этого сектора составляют угол α с диаметральной плоскостью (ДП) корабля, равный

$$\alpha = \arctan\left(\frac{1}{\sqrt{8}}\right) = \arcsin\left(\frac{1}{3}\right) \approx 19,471. \quad (1)$$

Поперечные волны носовой и кормовой групп располагаются в секторе между расходящимися волнами левого и правого бортов, их гребни имеют вид пологих дуг и находятся под прямым углом к ДП корабля.

Физическая сущность волнового сопротивления заключается в том, что корабль при своем движении продуцирует волны, которые остаются неизменными, пока скорость его хода постоянна [9]. На поддержание этой системы волн кораблем затрачивается часть мощности пропульсивной установки.

Доля волнового сопротивления в общем сопротивлении воды движению корабля сильно зависит от скорости движения. На невысоких скоростях, когда число Фруда $Fr < 0,15$, волновое сопротивление практически отсутствует, в то время как на скоростях полного хода при $Fr > 0,35 \div 0,50$ оно является преобладающей составляющей полного сопротивления [10, 14].

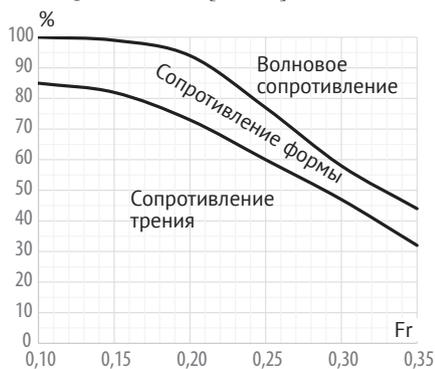


Рис. 2. Волновое сопротивление в балансе полного сопротивления движению корабля

Для оценки сопротивления воды движению корабля обычно пользуются величиной коэффициента волнового сопротивления ζ_B . Значение этого коэффициента зависит от размерений и формы корпуса корабля и от относительной скорости. На рис. 3 приведена типичная зависимость значения коэффициента волнового сопротивления от числа Фруда для водоизмещающего корабля. Хорошо заметен осциллирующий характер этой зависимости — на графике присутствуют «горбы» и «впадины».

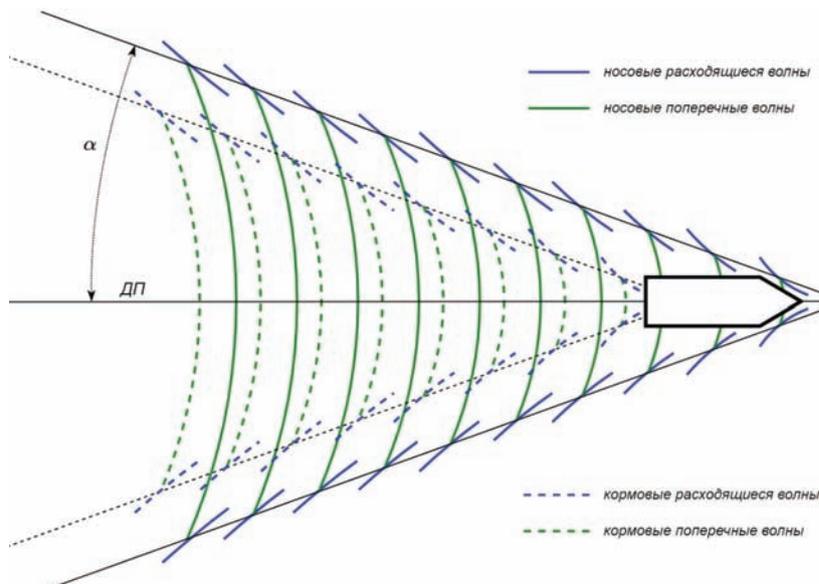


Рис. 1. Корабельные волны

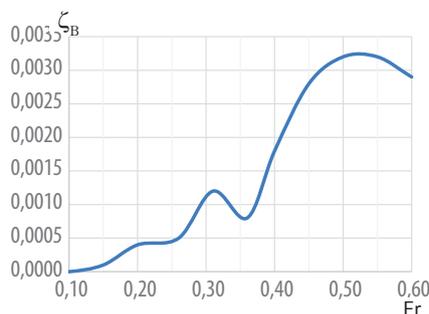


Рис. 3. Типичная зависимость коэффициента волнового сопротивления от числа Фруда для водоизмещающего корабля

На рис. 4 показаны условные движущиеся точки положительного и отрицательного давления, которые формируют носовую и кормовую группы поперечных корабельных волн.

Первая поперечная волна носовой группы зарождается вершиной несколько позади форштевня. Гребни последующих поперечных волн находятся друг от друга на расстоянии длины волны λ . Корабельные волны имеют гравитационную природу, и для случая бесконечной глубины известно [15], что длина такой волны зависит от ее скорости и определяется как

$$\lambda = \frac{2\pi C^2}{g}, \quad (2)$$

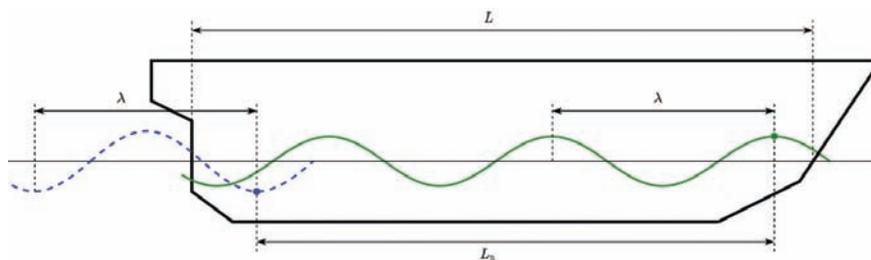


Рис. 4. Носовые и кормовые группы поперечных корабельных волн
— носовые поперечные корабельные волны;
--- кормовые поперечные корабельные волны

где C — скорость распространения волны, g — ускорение свободного падения.

Первая поперечная волна кормовой группы возникает со впадины несколько впереди ахтерштевня, где начинается кривизна кормовых ветвей ватерлинии. Длина кормовых поперечных волн связана со скоростью их распространения той же формулой (2), что и длина носовых поперечных волн.

Расстояние между волновыми системами (между первой вершиной носовой волны и первой впадиной кормовой волны) L_B практически постоянно и мало изменяется с изменением скорости хода корабля. Оно зависит от обводов корпуса и равно

$$L_B = mL, \quad (3)$$

где L — длина корабля по ватерлинии, а m — коэффициент, эмпирически равный 0,9 [7].

Продвигаясь вдоль корпуса корабля, носовые поперечные волны достигают района формирования волн кормовой группы и накладываются на них. При этом высоту интерферированной системы волн можно определить по известной формуле сложения двух гармонических колебаний одного периода при разности фаз:

$$h = \sqrt{h_n^2 + h_k^2 + 2h_n h_k \cos(\varphi_k - \varphi_n)}, \quad (4)$$

где h_n – высота носовой поперечной волны с учетом ее убывания при подходе к корме, h_k – высота кормовой поперечной волны в районе зарождения, φ_n и φ_k – соответственно фазы носовых и кормовых поперечных волн в точке интерференции.

Если фазы носовой и кормовой волн совпадают, и впадина носовой волны совпадает со впадиной кормовой волны, то $\cos(\varphi_k - \varphi_n) = 1$ и позади корабля формируется результирующая волновая система максимальной высотой $h_{max} = h_n + h_k$. Напротив, если вершина носовой волны совпадает со впадиной кормовой волны, то $\cos(\varphi_k - \varphi_n) = -1$ и высота интерферированной волны будет минимальна $h_{min} = h_n - h_k$. Картина формирования результирующей волны в результате интерференции приведена на рис. 5.

При этом картина сформированной интерферированной волновой системы при постоянной скорости корабля V не будет изменяться, так как носовая и кормовая группа волн являются когерентными и разница их фаз в точках интерференции не зависит от времени, а определяется только длиной волн.

Из гидромеханики известно [15], что энергия волны длиной λ , высотой h , плотностью ρ и единичной протяженностью вдоль гребня определяется следующей зависимостью:

$$E = \frac{\rho g \lambda h^2}{4}. \quad (5)$$

Так как энергия волны пропорциональна квадрату ее высоты, то увеличение высоты результирующей волновой системы в районе кормовой оконечности корабля вследствие интерференции носовых и кормовых поперечных волн является крайне неблагоприятным эффектом, существенно увеличивающим общее сопротивление движению корабля и, как следствие, энергетические затраты на преодоление этого возросшего сопротивления.

Определим числа Фруда, соответствующие скоростям хода корабля, на которых наблюдаются благоприятная и неблагоприятная интерференции поперечных корабельных волн.

С точки зрения наблюдателя, находящегося на корабле, при его движении корабельные волновые системы неподвижны, т. е. они движутся со скоростью корабля V :

$$C = V. \quad (6)$$

Экстремум высоты результирующей системы поперечных волн возникает, когда на расстоянии между носовой и кормовой системами волн укладывается целое число их полудлин. То есть условие совпадения вершины или впадины носовой волны со впадиной кормовой волны

$$L_b = N \frac{\lambda}{2}, \quad (7)$$

где N – натуральное число.

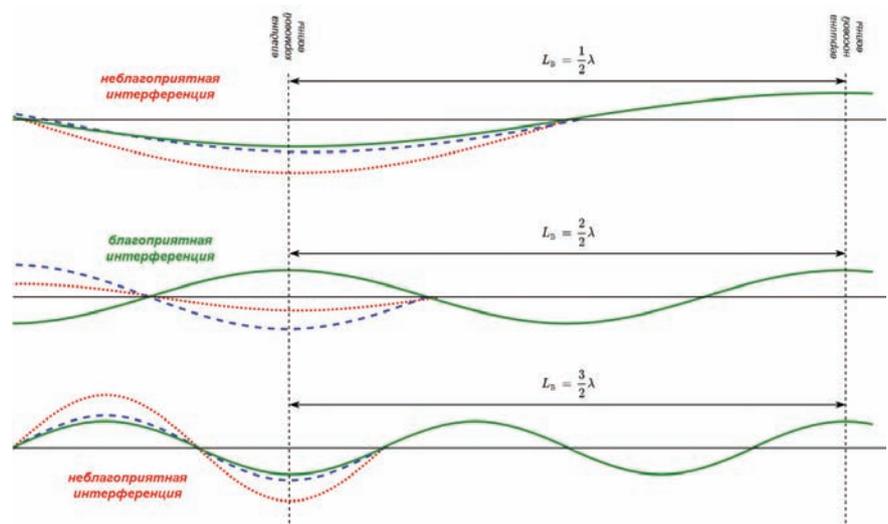


Рис. 5. Интерференция носовых и кормовых поперечных корабельных волн

— носовые поперечные корабельные волны;
 - - - кормовые поперечные корабельные волны
 - - - результирующая интерферированная волна

С учетом формул (2) и (6) можно записать

$$mL = \frac{N \pi V^2}{g}. \quad (8)$$

Отсюда

$$L = \frac{N \pi V^2}{mg}. \quad (9)$$

Число Фруда по длине равно

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}. \quad (10)$$

Подставив в (10) значение длины из (9), получим

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \frac{N \pi V^2}{mg}}} = \frac{V}{\sqrt{\frac{N \pi V^2}{m}}}. \quad (11)$$

Возводя обе части уравнения в квадрат, получаем

$$Fr^2 = \frac{mV^2}{N \pi V^2} = \frac{m}{N \pi}. \quad (12)$$

Следовательно,

$$Fr = \sqrt{\frac{m}{N \pi}}. \quad (13)$$

Для $m = 0,9$ значения чисел Фруда, соответствующие основным благоприятным и неблагоприятным скоростям хода, приведены в таблице. Именно для этих значений числа Фруда на рис. 3 наблюдаются локальные максимумы и минимумы коэффициента волнового сопротивления. Нечетным значениям N соответствуют «горбы», четным — «впадины».

Таблица
 Числа Фруда для основных благоприятных и неблагоприятных скоростей хода корабля

Число полудлин волн N	Число Фруда Fr	Влияние интерференции	Примечание
1	0,535	Неблагоприятное	«Главный горб» (main hump)
2	0,378	Благоприятное	
3	0,309	Неблагоприятное	«Призматический горб» (prismatic hump)
4	0,268	Благоприятное	Кормовая волнообразующая точка входит во вторую носовую волну
5	0,239	Неблагоприятное	
6	0,219	Благоприятное	Между волнообразующими системами укладывается три волны носовой системы.
7	0,202	Неблагоприятное	
8	0,189	Благоприятное	
9	0,178	Неблагоприятное	
10	0,169	Благоприятное	
11	0,161	Неблагоприятное	Левая граница области относительных скоростей, при которых наблюдается явление интерференции

Как показала в своем диссертационном исследовании А. Ш. Готман [11], интерференция поперечных корабельных волн возникает при $Fr > 0,161$ ($N > 11$). При меньших скоростях по длине L_B укладывается большое число волн. В процессе движения вдоль корпуса корабля поперечные волны успевают сместиться к границе клина и перейти в расходящиеся, поэтому они не достигают кормовой волнообразующей точки, а следовательно, не интерферируют с кормовой системой. Взаимодействие двух волнообразующих систем становится очень интенсивным, когда кормовая точка входит во вторую носовую волну при $Fr = 0,268$ ($N = 4$).

МЕТОД РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

При математическом моделировании волнового сопротивления движению корабля в СММО используется алгоритм расчета коэффициента волнового сопротивления, приведенный на рис. 6.

Входными данными для расчета являются: a_1, a_2, a_3 – коэффициенты зависимости коэффициента волнового сопротивления от числа Фруда без учета эффекта интерференции корабельных волн; V – скорость корабля, м/с; L – длина корабля по ватерлинии, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; m –

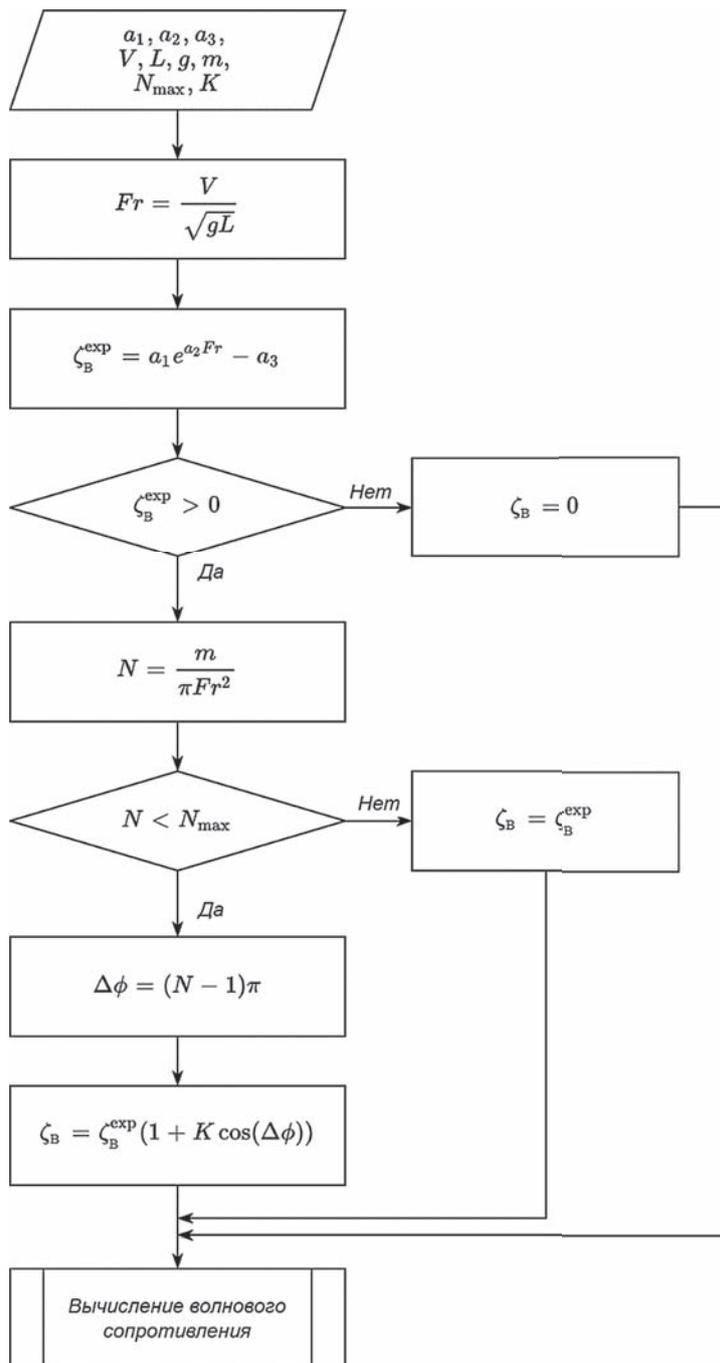


Рис. 6. Структурная схема алгоритма расчета коэффициента волнового сопротивления с учетом явления интерференции

коэффициент длины между носовой и кормовой системами поперечных корабельных волн; $N_{\max} = 11$ – максимальное количество полудлин волн, после которого прекращается учет явления интерференции; K – коэффициент изменения волнового сопротивления вследствие интерференции корабельных волн.

Число Фруда Fr рассчитывается как функция скорости корабля V при постоянной длине ватерлинии L по формуле (10).

Коэффициент волнового сопротивления без учета явления интерференции рассчитывается в зависимости от числа Фруда по экспоненциальной зависимости $\zeta_B^{\text{exp}} = a_1 e^{a_2 Fr} - a_3$. (14)

На рис. 7 приведен график этой зависимости при значениях коэффициентов $a_1 = 0,001$, $a_2 = 3$, $a_3 = 0,0015$.

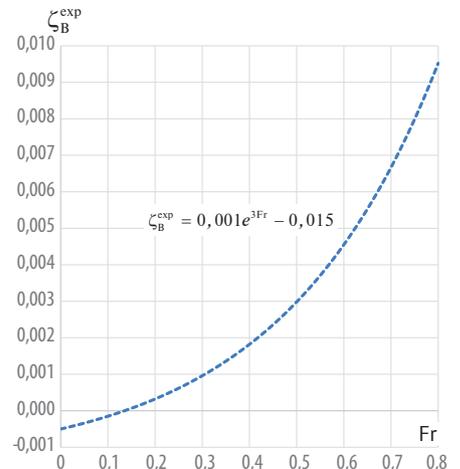


Рис. 7. Экспоненциальная зависимость коэффициента волнового сопротивления от числа Фруда без учета явления интерференции

Коэффициент a_1 является масштабным, a_2 определяет скорость нарастания ζ_B^{exp} с увеличением Fr , а коэффициент a_3 эквидистантно сдвигает зависимость вниз, тем самым смещая зону положительных значений ζ_B^{exp} .

Если для заданной скорости V значение ζ_B^{exp} меньше 0, то коэффициент волнового сопротивления ζ_B полагается равным нулю, и дальнейшие расчеты не выполняются. При этой скорости волновое сопротивление движению корабля пренебрежимо мало.

В противном случае рассчитывается количество полудлин поперечных волн, проходящихся на длину L_B . Оно находится из (13) и равно

$$N = \frac{m}{\pi Fr^2}. \quad (15)$$

Если $N > 11$, то явление интерференции корабельных волн не наблюдается и $\zeta_B = \zeta_B^{\text{exp}}$. При $N \leq 11$ необходимо учесть влияние интерференции.

Разница фаз поперечных волн в районе первой впадины кормовой волны составит

$$\Delta\varphi = (N - 1)\pi. \quad (16)$$

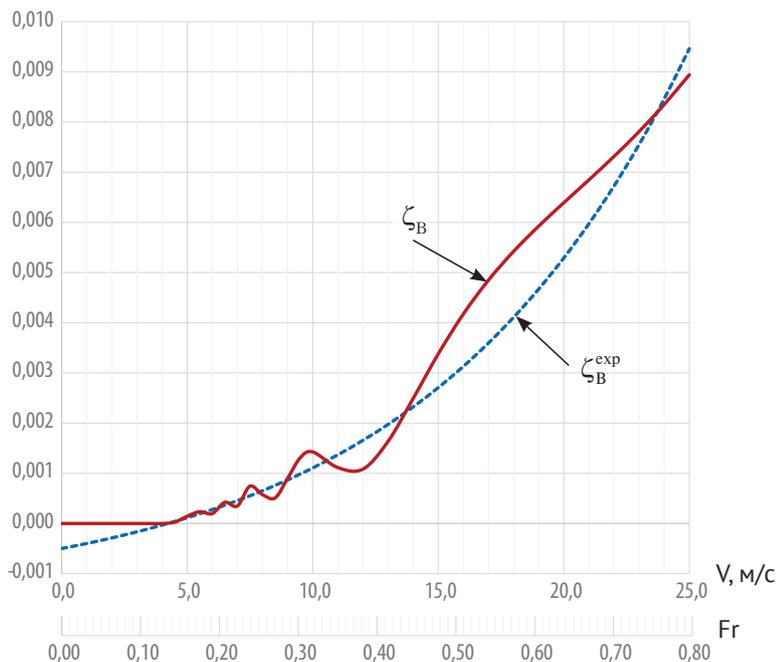


Рис. 8. Зависимость коэффициента волнового сопротивления от скорости корабля с учетом явления интерференции носовых и кормовых поперечных волн

Значение коэффициента волнового сопротивления с учетом взаимодействия волнообразующих систем определяется как

$$\zeta_B = \zeta_B^{\text{exp}} (1 + K \cos(\Delta\varphi)), \quad (17)$$

где K – коэффициент изменения значения ζ_B^{exp} из-за интерференции носовых и кормовых поперечных волн.

На рис. 8 приведен пример расчета коэффициента волнового со-

противления при $L = 100$, $m = 0,9$ и $K = 0,35$.

АНАЛИЗ И НАСТРОЙКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА

При использовании описанного способа вычисления коэффициента волнового сопротивления для математического моделирования конкретного корабля необходимо добиться требуемой степени соответствия волнового сопротивления движению смоделированного объекта реальному прототипу. Это достигается путем подбора коэффициентов a_1 , a_2 , a_3 , а также m и K .

При помощи изменения значений коэффициентов a_1 и a_2 необходимо подобрать диапазон значений и темп нарастания коэффициента волнового сопротивления при увеличении скорости корабля без учета явления интерференции корабельных волн. Изменяя коэффициент a_3 можно скорректировать зону положительных значений ζ_B^{exp} , т. е. задать скорость корабля, при которой начинается учет волнового сопротивления его движению. Характер изменения зависимости коэффициента волнового сопротивления при корректировке значений a_1 , a_2 , и a_3 приведен на рис. 9 и рис. 10.

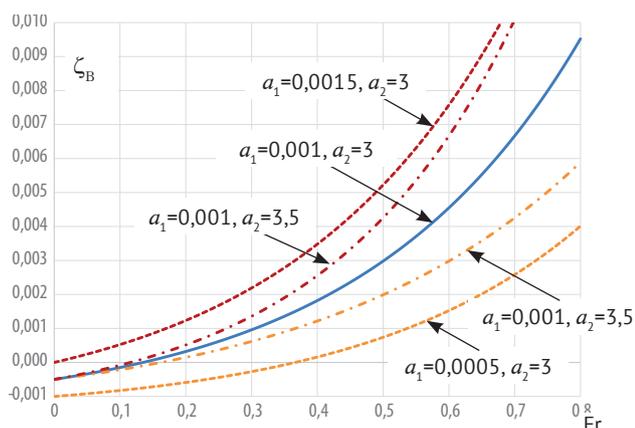


Рис. 9. Коэффициент волнового сопротивления без учета явления интерференции при изменении коэффициентов a_1 и a_2

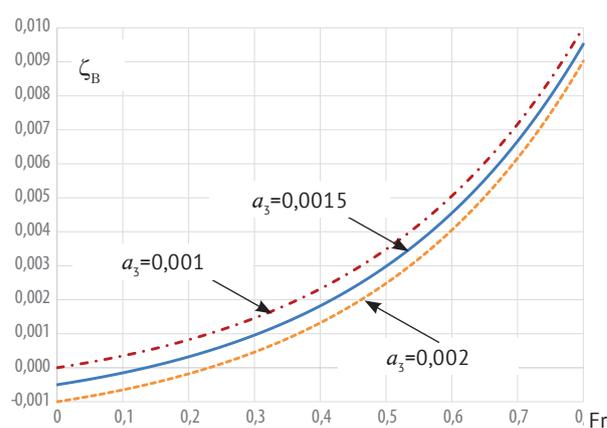


Рис. 10. Коэффициент волнового сопротивления без учета явления интерференции при изменении коэффициента a_3

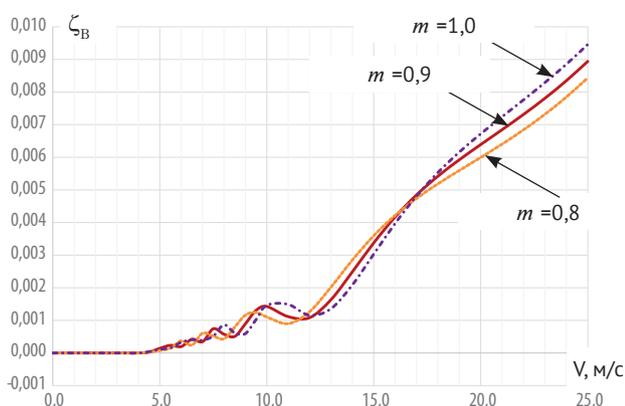


Рис. 11. Коэффициент волнового сопротивления при изменении коэффициента m

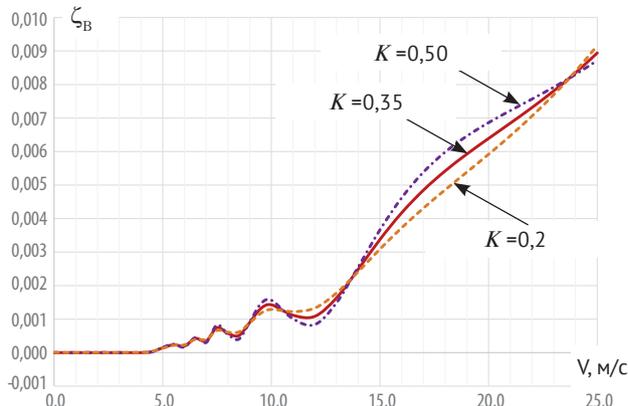


Рис. 12. Коэффициент волнового сопротивления при изменении коэффициента K

На рис. 11 показан характер изменения коэффициента волнового сопротивления при изменении коэффициента m , входящего в (3).

Уменьшение значения m приводит к тому, что длина между волнообразующими системами L_B также уменьшается, и на этом расстоянии укладывается меньшее число полуволн N . вследствие этого расстояние между последовательными локальными максимумами и минимумами ζ_B становится меньше, их позиции на оси Fg смещаются влево, а сами они при увеличении скорости наступают чаще. Увеличение значения m имеет обратный эффект.

На рис. 12 показано влияние на коэффициент волнового сопротивления значения коэффициента K , входящего в (17). Увеличение значения коэффициента K приводит к увеличению размаха значения ζ_B по отношению к ζ_B^{exp} и наоборот.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе рассмотренных физических принципов возникновения явления интерференции носовых и кормовых поперечных корабельных волн предложен способ учета ее влияния на волновое сопротивление движению корабля.

При настройке математической модели конкретного корабля усовершенствованный математический аппарат позволяет в реальном времени путем корректировки значений коэффициентов зависимостей, входящих в алгоритм расчета, добиться соответствия волнового сопротивления движению модели реальному прототипу. Низкая вычислительная сложность алгоритма позволяет использовать его в моделирующем комплексе, работающем в реальном времени.

Предложенный способ был реализован в программном обеспечении «Система моделирования морских операций» [17], что позволило повысить адекватность математического моделирования взаимодействия движущегося корабля с взволнованной водной поверхностью.

Дальнейшим шагом по повышению качества математического моделирования будет учет эффектов, возникающих при движении корабля на мелководье, в узкостях и каналах, а также рядом с другими движущимися по воде объектами – эффект банки, эффект наклонного дна, канальный эффект, «присасывание» расходящихся судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Description of Transasas Mathematical Mode.–Петербург: Transas Ltd, 2012. – 90 с.
2. Froude R. E. On the Leading Phenomena of the Wave-making Resistance of Ships // Transactions of the Institution of Naval Architects. – 1881. – Vol.XII. – P. 220–224.
3. Froude W. Fundamental Principles of the Resistance of Ships. // Proceedings of the Royal Institution of Great Britain. – 1875. – Vol.VIII. – P. 188–213.
4. Leonhard E. Scientia navalis seu Tractatus de construendis ac dirigendis navibus. – Petropoli: Typis Academiae Scientiarum, 1749. – 534 p.
5. Michell J. H. The Wave-Resistance of a Ship. // Philosophical Magazine. – 1898. – Vol. 45. r. 5. – P. 106–123.
6. Newton Is. Philosophiae Naturalis Principia Mathematica. – Londini: Jussu Societatis Regiae ac typis Iosephi Streater, prostat apud plures bibliopolas, 1687. – 510 p.
7. Rawson K. J. Tupper. E. C. Basic Ship Theory. – Vol.2: Ship Dynamic and Design. – UK: Butterworth-Heinemann, 2001. – 368 p.
8. Thomson W. On Ship Waves. //Proceedings of the Institution of Mechanical Engi-

neers. – 1887. – Vol. 38.– Issue 1.– P. 409–434.

9. Арефьев М. Я. Ходкость и управляемость судов. Сопротивление воды движению судов. – М.: Транспорт, 1966. – 344 с.
10. Войткунский Я. И. Сопротивление движению судов. – Л.: Судостроение, 1988. – 286 с.
11. Готман А. Ш. Волновое сопротивление и оптимизация обводов судов. – Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.8.01 – Новосибирск, 1996. – 207 с.
12. Грачёв В. Г. Обеспечение подготовки специалистов военно-морского флота с использованием отечественного программного продукта «Система моделирования морскопер //Тр. 10-й Международ. конфер. «Военно-морской флот и судостроение в современных условиях» NSN'2019. – СПб.: Изд. КГНЦ, 2019.
13. Грачёв В. Г. Перспективы создания отечественной импортозамещающей кроссплатформенной программной системы моделирования морской обстановки // Сб. науч.тр. по итогам IX Всеросс. науч.-техн. конфер. «Концептуальные подходы и перспективы развития технических средств обучения на период до 2027 года». – Кубинка, 2018.
14. Дробленков В. Ф. Справочник по теории корабля. – М.: Воениздат, 1984. – 589 с.
15. Кочин Н. Е. Теоретическая гидромеханика. – Ч. 1.– М., Физматгиз, 1963. – 584 с.
16. Печенюк А. В. Эталонное тестирование ПК FFlowVision в задаче моделирования обтекания судна // Компьютерные исследования и моделирование.–2014. – № 6. – С. 889–899.
17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018661128. СММО - Моделирующий комплекс// Барков В. А., Грачёв В. Г., Насыров Р. Р. и др.
18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018661914. Система моделирования морских операций (СММО)// Барков В. А., Грачёв В. Г., Насыров Р. Р. и др. ■

Современный этап развития судостроительной отрасли характеризуется острой конкуренцией и началом внедрения новых материалов и эффективных сварочных технологий, которые меняют эту консервативную отрасль. Это вызвано повышением требований к производительности и эффективности строительства судов при снижении их конкурентоспособной стоимости. Одной из важных составляющих этой задачи является повышение точности изготовления и сборки корпусных конструкций, а также достройки судна.

Российские верфи впервые за 30 лет начали получать заказы на строительство рыболовецких судов. На инвестквоты заявлено более 30 компаний, самые крупные заказы (по 10 судов в серии) разместили крупнейшие рыбодобывающие группы «Норвебо» и «Русская рыбопромышленная компания». В рамках реализуемой государственной инвестиционной программы Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 314 «Развитие рыбохозяйственного комплекса» (с изменениями на 27 марта 2019 г.) согласовано строительство 43 крупно- и среднетоннажных судов рыбопромышленного флота. На ближайшую перспективу до 2023 г. запланировано строительство 33 судов, часть из которых находится в постройке, и до 2025 г. предполагается построить еще 11 судов на отечественных предприятиях. Из указанных 43 проектов 18 судов планируется построить для Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна, а 25 судов – для Северного бассейна. Объем инвестиций промышленников в судостроительную отрасль составляет 166 млрд руб. [1].

Следует отметить, что строительство современного рыбопромышленного судна – весьма сложный и дорогостоящий процесс. Это объясняется не только стоимостью специального оборудования, но и условиями эксплуатации траулера. Подобные суда практически на 35% состоят из нержавеющей стали, так как большинство конструкций корпуса имеют контакт с морской водой.

Многолетним опытом успешной эксплуатации подтверждена эффективность применения нержавеющей стали

МЕТОД ВРЕМЕННОЙ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

*Д.А. Полянская, инженер-конструктор АО «Адмиралтейские верфи»,
В.И. Трусов, д-р техн. наук, зав. кафедрой СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (911) 787 2491*

в судостроении. Они используются для изготовления цистерн, трубопроводов, настилов, крепежа и пр.

Наряду с аустенитно-ферритными (дуплекс-сталями) большое распространение получили аустенитные Cr-Ni-Mo стали. Благодаря хорошей технологичности, сбалансированному сочетанию механических свойств с высокой коррозионной стойкостью и хладостойкостью, несущая способность конструкций из аустенитных нержавеющей сталей, эксплуатирующихся как в Арктике, так и в тропических морских условиях, не снижается в течение длительного срока эксплуатации.

Коррозионно-стойкие железные сплавы производятся согласно ГОСТ 5632–2014. В них могут присутствовать добавки из кремния, марганца, и молибдена.

Аустенитная высоколегированная сталь является одной из лучших модификаций железа, но в ней содержится большое количество дорогостоящих легирующих компонентов: хрома и никеля. Аустенизация – это термообработка стали (процесс, аналогичный закаливанию углеродистых сталей), состоящая из нагрева ее до 1050–1100 °С, кратковременного (в течение 10 мин) выдерживания при этой температуре и последующего быстрого охлаждения. В процессе нагрева карбиды хрома (и углерод) полностью растворяются в аустените, а быстрое охлаждение препятствует повторному выделению карбидов. При этом формируется гранецентрированная кубическая микроструктура, благодаря которой сталь становится коррозионно-стойкой.

К сожалению, отечественные предприятия в погоне за выгодой и оптимизацией расходов закупают сталь, не прошедшую аустенизацию. Уже



Рис. 1. Нержавеющая сталь марки 03X17H14M3 со следами питтинговой коррозии

в процессе ее хранения на складе могут появиться следы питтинговой коррозии (рис. 1).

Химический анализ показал, что эта сталь имеет состав, представленный в таблице.

Из данных таблицы видно, что процентное содержание компонентов полностью соответствует требованиям стандарта, проблема заключается в электрохимических неоднородностях микроструктуры поверхности стали, не прошедшей аустенизацию.

Таблица

Соответствие стали 03X17H14M3 требованиям ГОСТ 5632–2014

Компонент	Массовая доля компонентов, %										Марка материала
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe	
Образец № 1	0,01	0,32	1,21	0,002	0,026	17,58	13,94	2,67	0,23	Осн.	03X17 H14 M3
ГОСТ 5632–2014	Не более 0,03	Не более 0,40	1,00–2,00	Не более 0,020	Не более 0,030	16,80–18,30	13,50–15,00	2,30–2,80	Не более 0,25	Осн.	03X17 H14 M3

Способы борьбы с коррозией этих сталей очень ограничены, здесь нельзя применить окраску с абразивоструйной очисткой, так это приводит к разрушению защитного слоя оксида хрома и становится отличным поводом для образования сплошной коррозии на всей поверхности.

Следует также исключить из рассмотрения методы классической консервации с маслорастворимыми ингибиторами коррозии, поскольку после обработки минеральными маслами недопустимы операции резки и сварки. Наибольший интерес для изменения микроструктуры поверхности представляют неорганические конверсионные покрытия, наносимые в виде водных растворов неорганических веществ, например, состава холодного фосфатирования «НОТЕХ» с анодным ингибитором коррозии. Он работает по принципу химического преобразователя ржавчины (ХПР), образует неэлектропроводный мелкокристаллический слой фосфатов железа, никеля, хрома в составе стали и цинка из состава «НОТЕХ». Тем самым обеспечиваются выравнивание электродного потенциала, пассивация поверхности и коррозионная стойкость.

ХПР «НОТЕХ» может быть использован при температурах от минус 5 °С до плюс 30 °С и не требует последующего смыва водой, моющими составами или растворителями. Покрытие пожаро- и взрывобезопасно, водой смешивается в любых соотношениях, является водотнимающим средством. Для наглядности в эксперименте использовались два образца стали марки 03Х17Н14М3, один находился в цеховом помещении, другой – на улице. Рабочий состав «НОТЕХ» был изготовлен из концентрата «НОТЕХ-К» разбавлением водой в соотношении 1:2. Обработка проводилась нанесением раствора пульверизатором два раза с промежуточной сушкой 2 часа при температуре 20 °С. Результат, полученный на образцах спустя две недели хранения, показан на рис. 2 и рис. 3. На обоих листах четко видна граница до нанесения и после нее.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, благодаря обработке «НОТЕХ» удается продлить срок хранения нержавеющей стали без образования на ней видимых продуктов коррозии. Конечно, получаемый химическим путем защитный эффект несопоставим с высокотемпературной аустенизацией, но, по данным натурных испытаний, после фосфатирования «НОТЕХ» сталь сохраняет устойчивое пассивное состояние. Срок защитного действия при этом может быть увеличен дополнительной консервацией водорастворимыми ингибиторами атмосферной коррозии.



Рис. 2. Образец, хранившийся на улице

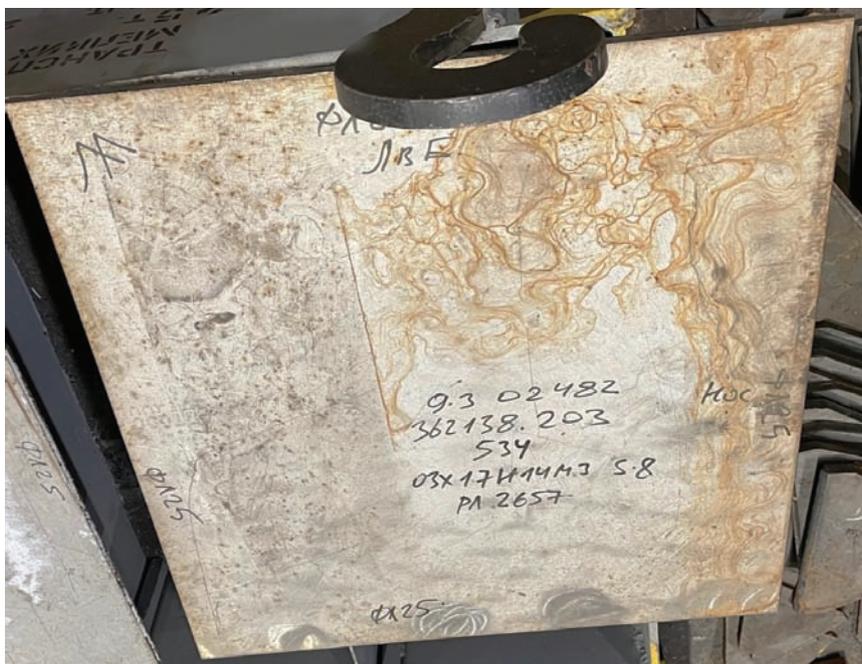


Рис. 3. Образец, хранившийся в цехе

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева О.Э., Бабчук Е.В., Крулёв А.А. Анализ выполнения государственной инвестиционной программы и перспективы строительства судов рыбопромыслового флота на отечественных судостроительных предприятиях. – Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2020. – № 1 (391). – С. 219–230.
2. Пласкеева Е.И., Полянская Д.А., Трусов В.И., Ходжаев Р.С., Черкаев Г.В. Атмосферостойкие системы покрытия для судостроительной верфи // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 1. – Т. 2. – С. 75–78.
3. Мушникова С.Ю. и др. Высокопрочные аустенитные свариваемые стали для судостроения // В. А. Малышевский, Г. Ю. Калинин, А. С. Тепленичева, С. Ю. Мушникова, О. В. Фомина, А. А. Харьков // Вопросы материаловедения. – 2014. – № 2 (78). – С. 26–35.
4. Мушникова С.Ю. и др. Структура, свойства и сопротивление коррозионному растрескиванию азотсодержащей стали, упрочненной термомеханической обработкой // С.Ю. Мушникова, С.К. Костин, В.В. Сагарадзе, Н.В. Катаева // Физика металлов и металловедение. – 2017. – Т. 118. – № 11. – С. 1223–1235. ■

Необходимость разработки пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод кораблей основных классов (корвет, фрегат, эсминец), обусловлена безальтернативностью использования электродвижения при обеспечении малолучных поисковых режимов поиска подводных лодок (ПЛ), как правило, на малых скоростях хода корабля – от 6 до 12 уз. Это подтверждается тем, что весьма серьезно ужесточились требования к акустической скрытности кораблей и плавности изменения хода при выполнении поисковых задач с буксируемой гидроакустической станцией (ГАС). Так, например, командование Объединенных ВМС НАТО с 2014 г. рассматривает борьбу с ПЛ в качестве приоритетного направления строительства надводного флота [1 – 3].

Прямодействующие главные дизели и газотурбинные двигатели (ГТД) при обеспечении малых скоростей хода корабля работают неустойчиво, появляются дополнительный шум и вибрация, осложняющие ведение поисковых работ.

Дополнительный шум и вибрацию обуславливают зубчатые зацепления главных редукторных агрегатов, посредством которых крутящий момент передается от ГТД или дизельных двигателей на линии вала.

Использование систем полного электродвижения для исключения главных редукторных передач и протяженных линий вала из состава пропульсивного комплекса также можно считать ошибочным решением. В этом случае в составе ЭУ появляются громоздкие и массивные гребные электродвигатели (ГЭД), электрические генераторы и частотные преобразователи, значительно превышающие по габаритам и массе главные редукторные передачи в совокупности с линиями вала.

Даже в случае применения высокового напряжения в системе ГЭД и реализации эффекта высокотемпературной сверхпроводимости система полного электродвижения по массе основного оборудования, входящего в состав ЭУ, не менее чем в 1,5 раза превысит аналогичную массу ЭУ при использовании прямодействующих передач крутящего момента на винт от главных двигателей через редукторы и протяженные линии вала, что подтверждается расчетами.

Кроме того, стоимость такой ЭУ также многократно увеличивается, приближаясь к стоимости атомной ЭУ.

Использование системы частично электродвижения с *малооборотными* прямоприводными ГЭД (соединяемыми непосредственно с линиями вала), мощностью от 2 до 6 МВт (рис. 1) для обеспечения поисковых режимов ПЛ и маршевых ходов на скоростях до 16 – 20 уз, на которых рассчитывается наибольшая

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ПРОПУЛЬСИВНОГО МОДУЛЯ, ВСТРАИВАЕМОГО В ВАЛОПРОВОД ПЕРСПЕКТИВНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

К.Г. Голубев, канд. техн. наук, гл. инженер АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 373 8300, 369 1233

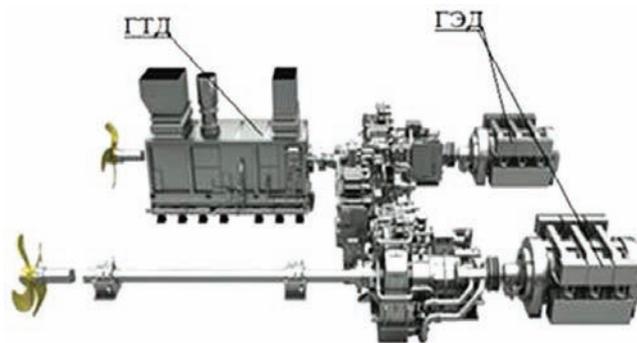


Рис. 1. Схемное исполнение CODLAG европейских фрегатов серии F125 (ВМС Германии), FREMM (ВМС Франции и Италии), пр. 26 (британских ВМС)

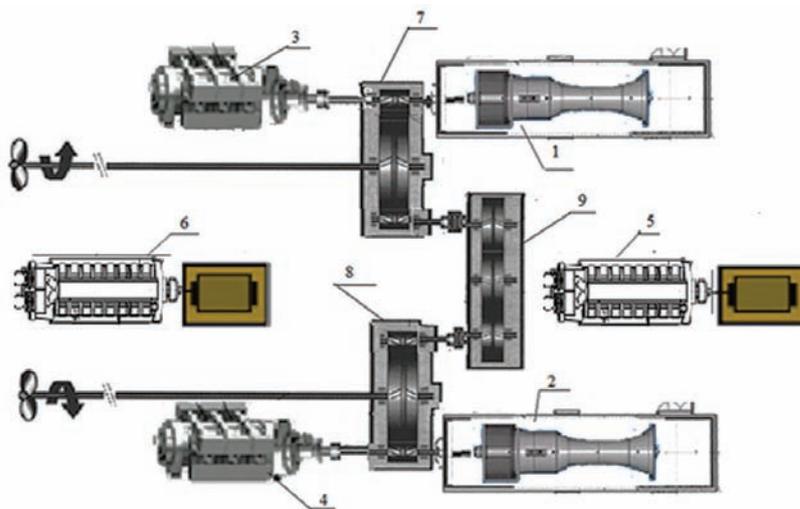


Рис. 2. Структурная схема энергетической установки схемного исполнения CODLAG нового корвета

1, 2 – ГТД М90ФР в капоте; 3, 4 – ГЭД АДР-1600; 5, 6 – дизель-генераторы ДГАС-1600; 7, 8 – главные редукторные передачи соответственно левого и правого борта; 9 – межредукторная перекидка (МРП)

дальность плавания, как это реализовано за рубежом на фрегатах пр. 23 Duke и пр. 26 Global Combat Ship британских ВМС, фрегатах серии F125 ВМС Германии, фрегатах серии FREMM (Frigates European Multi-Mission) ВМС Франции и Италии, также не лишено определенных недостатков. Такие ГЭД обладают значительными габаритными размерами и массой, достигающей 40 – 60 т на одну линию вала, что не позволяет использовать какие-либо средства амортизации ГЭД.

Система частично электродвижения с *высокооборотными* ГЭД массой, не превышающей 8 т, и мощностью до 2 МВт, передающих крутящий момент

через главный редуктор на линию вала, для обеспечения поисковых режимов ПЛ и маршевых ходов на скоростях до 14 – 15 уз, как это реализовано на одном из новых корветов (рис. 2), тоже имеет определенные недостатки, связанные с акустическим шумом громоздкого главного редуктора на поисковых режимах.

Кроме того, существенным недостатком любой электрической схемы передачи крутящего момента на винт является двойное преобразование энергии, обуславливающее появление дополнительных потерь (рис. 3).

При электрическом способе передачи крутящего момента на винт потери неизбежно составят более 12%, что в

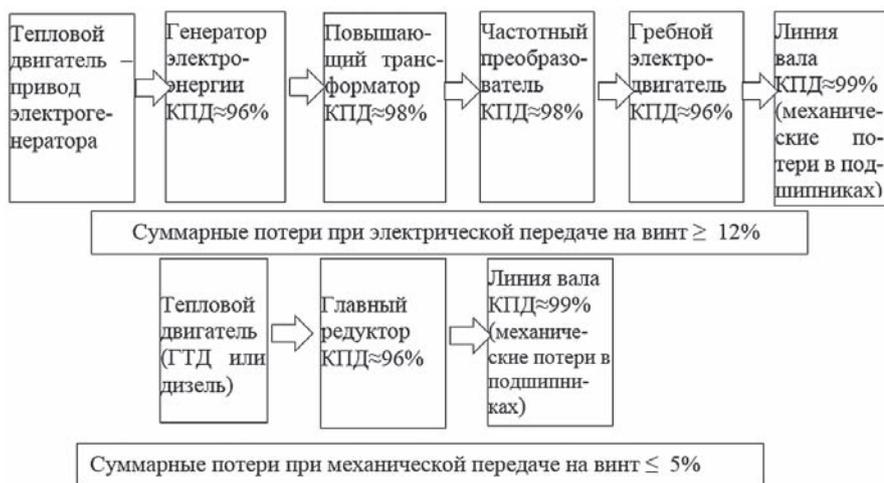


Рис. 3. Сравнительная характеристика потерь энергии при электрической и механической передачах крутящего момента от теплового двигателя на винт

2,4 раза превышает аналогичные потери при механическом способе передачи крутящего момента, наибольшую долю которых составляют потери в главном редукторе. Даже в случае использования современных технологий высокотемпературной сверхпроводимости при электрической передаче крутящего момента вышеуказанные потери можно снизить не более чем на 2 – 3%, по эффективности лишь приблизившись к механическому способу передачи.

Для маршевых ходов на скоростях 14 – 16 уз, для которых рассчитывается дальность плавания корабля, наличие дополнительных потерь может быть критичным и повлечет увеличение запасов топлива для достижения проектной дальности плавания не менее чем на 10%, что неизбежно повлечет увеличение водоизмещения корабля.

Другими словами, если исходить из утверждения об отсутствии альтернатив-

вы использованию электродвижения на поисковых режимах ПЛ, скорость хода которых, как правило, не превышает 10 – 12 уз, то на маршевых скоростях хода 14 – 16 уз, для которых рассчитывается дальность плавания корабля, достоинства электродвижения нивелируются их недостатком, связанным с двойным преобразованием энергии. Электродвижение на таких скоростях начинает мешать достижению наибольшей дальности плавания корабля.

Очевидным решением обозначенных выше проблем является изменение концепции использования частичного электродвижения за счет использования ГЭД лишь для поисковых режимов ПЛ на скоростях, не превышающих 10 – 12 уз. Для обеспечения маршевых ходов на скоростях 14 – 16 уз и более следует вернуться к прямой действующей схеме передачи крутящего момента от дизельного двигателя через главный редуктор на винт.

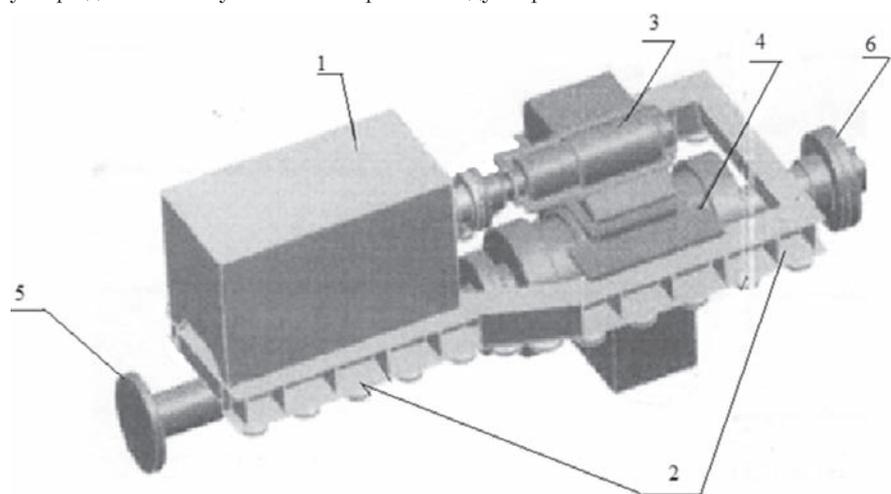


Рис. 4. Общий вид пропульсивного модуля
1 – гибридный электропривод в звукоизолирующем кожухе; 2 – общая рама пропульсивного модуля; 3 – редукторная передача модуля; 4 – сервоуправляемая соединительная муфта; 5 – фланцевое соединение модуля с линией вала; 6 – фланцевое соединение модуля с выходным валом редуктора

Для реализации указанной концепции необходимо использование пропульсивного модуля (рис. 4), встраиваемого непосредственно в валопровод после главной редукторной передачи, представляющего собой *высокооборотный ГЭД 1* (возможно использование гибридного электропривода, т.е. ГЭД/генератора), размещенный на единой раме 2 со своей редукторной передачей 3. Редукторная передача модуля 3 соединяется с линией вала с помощью специальной муфты 4, допускающей смещения в осевом и радиальном направлениях. С помощью фланцевого соединения 5 модуль соединяется с линией вала, а с помощью фланцевого соединения 6 соединяется с выходным валом главной редукторной передачи. Такое решение позволяет установить пропульсивный модуль на единую раму на корабельном фундаменте через низкочастотные амортизирующие крепления.

Серво-управляемая соединительная муфта 4 обеспечивает как полное рассоединение модуля с валолинией при работе ГТД или ДВС по схеме CODOGOL (англ. Combined Diesel Or Gas Or (diesel)-eLectric), так и совместную работу ГТД или ДВС по схеме CODOGAL (англ. Combined Diesel Or Gas And (diesel)-eLectric).

Для дальнейшего снижения уровней вибрации и шума на поисковых режимах ПЛ при движении под ГЭД, обеспечиваемых электроэнергией от работающих дизель-генераторов, главная редукторная передача может полностью отключаться от валолинии посредством сервоуправляемой муфты 4, таким образом позволяя вывести из действия главные двигатели ГТД и ДВС, обеспечивая тем самым минимальный уровень акустического шума и вибрации.

При использовании гибридного электропривода (ГЭД/генератора) с увеличением скорости хода корабля при работе от ГТД гребные электромоторы могут переключаться в генераторный режим, повышая электроэнергетические возможности корабля, что позволит отключать один или два работающих дизель-генератора.

Достоинством такой схемы, кроме обеспечения малозумных поисковых режимов ПЛ, является возможность использования высокооборотного ГЭД существенно меньшей, в 2 – 3 раза, мощности, нежели требуется для обеспечения маршевых ходов (14–16 уз), что положительно сказывается на возможности снижения габаритов и массы системы электродвижения и установленной мощности дизель-генераторов.

Для реализации разработки пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод, необходимо проведение следующих работ:

1. НИР-1 «Оценка областей потенциального использования пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод, на кораблях основных классов с ГЭД мощностью соответственно 600 (для корветов), 800 (для фрегатов) и 1200 кВт (для эсминцев)».

2. НИР-2 «Конструкторская проработка возможности реализации концепции пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод на кораблях основных классов».

3. ОКР-1 «Создание судового пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод, для кораблей основных классов».

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОЛОВНОГО ИСПОЛНИТЕЛЯ НИР И ОКР, А ТАКЖЕ СОИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Главным исполнителем при разработке НИР-1 может выступить АО «ЦМКБ «Алмаз», а при разработке НИР-2 и ОКР-1 предполагается подключить АО «Проектно-конструкторское бюро «Автоматика» (АО «ПКБ «Автоматика») (г. Санкт-Петербург), которое в состоянии разработать:

- специальную редукторную передачу 3 (см. рис. 4) крутящего момента от высокооборотного ГЭД на линию вала;
- серво-управляемую соединительную муфту 4 (см. рис. 4), обеспечивающую соединение/рассоединение пропульсивного модуля с валопроводом, а также соединение/рассоединение валопровода от главной редукторной передачи при работе ГЭД на поисковых режимах;
- общую раму пропульсивного модуля.

Соисполнителем при разработке НИР-2 и ОКР-1 предполагается концерн «РУСЭЛПРОМ-Ленинградский электромашиностроительный завод» (г. Санкт-Петербург), который может разработать:

- гребной электродвигатель (или гибридный ГЭД/генератора);
- статические преобразователи частоты.

Предварительное соглашение с головным исполнителем и соисполнителями работ достигнуто.

ИМЕЮЩИЙСЯ ЗАДЕЛ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

АО «ПКБ «Автоматика» оказывает инженеринговые услуги в области создания новых образцов машиностроительной продукции различного назначения. Заказчиком продукции ПКБ «Автоматика» является Министерство обороны РФ, ПАО «ОДК «Сатурн» и др.

В частности, для корвета одного из новых проектов ПКБ «Автоматика»

разработало быстроразъемные автоматические муфты для редукторного комплекса БРП, предназначенные для автоматического соединения/рассоединения выходного вала ГТД М90ФР с редуктором.

Разработаны и созданы испытательные стенды и проведены все виды испытаний разработанных муфт на соответствие требованиям ВМФ. В перспективе испытательные стенды могут использоваться для испытаний разрабатываемого пропульсивного модуля.

Концерн «РУСЭЛПРОМ» имеет компетенции в разработке и создании валогенератора/электродвигателя ДАЗ-600-0,38-1200 мощностью 600/450 кВт, для нового патрульного корабля Береговой охраны, по характеристикам, сходным с ГЭД/генератором предлагаемого пропульсивного модуля для кораблей класса «корвет».

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ЭУ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОПУЛЬСИВНОГО МОДУЛЯ, ВСТРАИВАЕМОГО В ВАЛОПРОВОД

Ниже, на рис. 5-7, представлены структурные схемы ЭУ перспективных кораблей с использованием пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод, которые по своим техническим решениям соответствуют лучшим мировым аналогам корабельного энергомашиностроения.

Схему ЭУ, представленную на рис. 5, можно применять на корветах водоизмещением более 3000 т и фрегатах, водоизмещением до 5000 т.

Для обеспечения поисковых тихоходных режимов корвета со скоростью до 10 уз включительно понадобятся два пропульсивных модуля с ГЭД мощнос-

тью примерно 2×600 кВт, а для фрегата мощность ГЭД должна составлять ок. 2×800 кВт. При необходимости увеличения скорости поисковых режимов до 12 уз мощность ГЭД должна быть соответственно увеличена до 1000 и 1300 кВт.

Скорость полного хода корвета при использовании перспективного ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью 35 МВт производства ПАО «ОДК-Сатурн», [5 – 7], составит порядка 30 уз, а фрегата – порядка 28 – 29 уз. В обеспечении маршевых ходов использование перспективных дизельных двигателей 16СД500 (2×5880 кВт) [4] производства АО «Коломенский завод» позволит развивать корвету скорость хода не менее 20 и ок. 18 уз фрегату. Под одним маршевым ДВС скорость хода корвета составит не менее 16 уз, а фрегата не менее 15 уз.

Схему ЭУ, представленную на рис. 6, можно применять на перспективных фрегатах водоизмещением 5000 – 8000 т и эсминцах, водоизмещением в диапазоне 8000–12 000 т.

Для обеспечения поисковых тихоходных режимов фрегата со скоростью до 10 уз включительно понадобится использовать два пропульсивных модуля с ГЭД мощностью ок. 2×000 кВт, а эсминца мощность ГЭД должна составлять ок. 2×1200 кВт. При необходимости увеличения скорости поисковых режимов до 12 уз мощность ГЭД должна быть соответственно увеличена до 1200 и 1400 кВт.

Скорость полного хода фрегата при использовании перспективных ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью 2×35 МВт составит не менее 32 уз, а эсминца – не менее 30 уз. На маршевых ходах при использовании дизельных

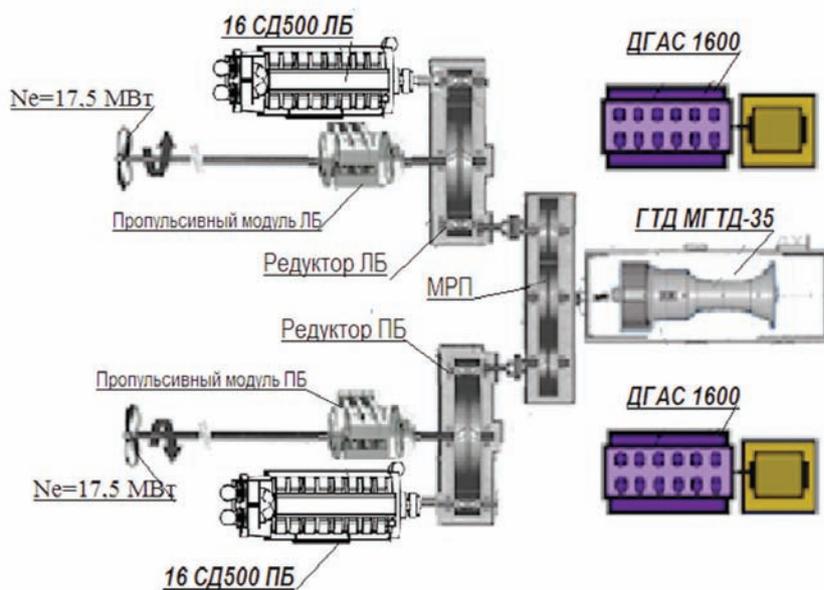


Рис. 5. Структурная схема ЭУ перспективного корвета ($D \geq 3000$ т) и фрегата ($D \leq 5000$ т)

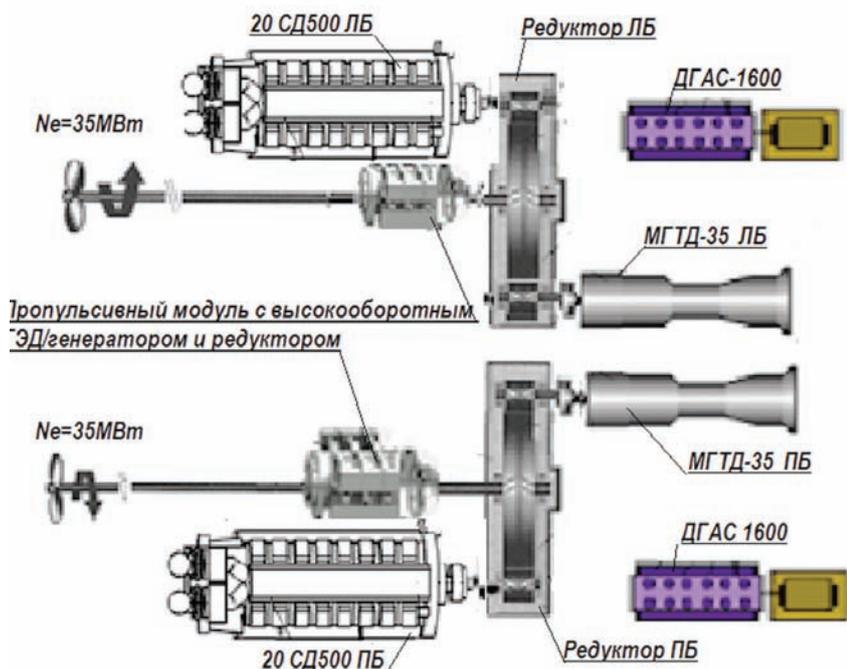


Рис. 6. Структурная схема ЭУ перспективного фрегата ($5000 \leq D \leq 8000 \text{ т}$) и эсминца ($8000 \leq D \leq 12000 \text{ т}$)

двигателей 20СД500 ($2 \times 7350 \text{ кВт}$) АО «Коломенский завод» скорость хода фрегата составит не менее 20 уз и эсминца ок. 19 уз. Под одним маршевым ДВС скорость хода фрегата составит не менее 15 уз для эсминца ок. 13 уз.

Схему ЭУ, представленную на рис. 7, можно применять на перспективных тяжелых эсминцах водоизмещением более 14 000 т и на легких авианосцах водоизмещением до 70 000 т.

Для обеспечения поисковых тихоходных режимов эсминца со скоростью до 10 уз включительно понадобится использовать два пропульсивных модуля с ГЭД мощностью ок. $2 \times 1600 \text{ кВт}$, а при необходимости увеличения скорости поисковых режимов до 12 уз мощность ГЭД должна быть увеличена до 2000 кВт.

Использование пропульсивных модулей с ГЭД/генераторами для

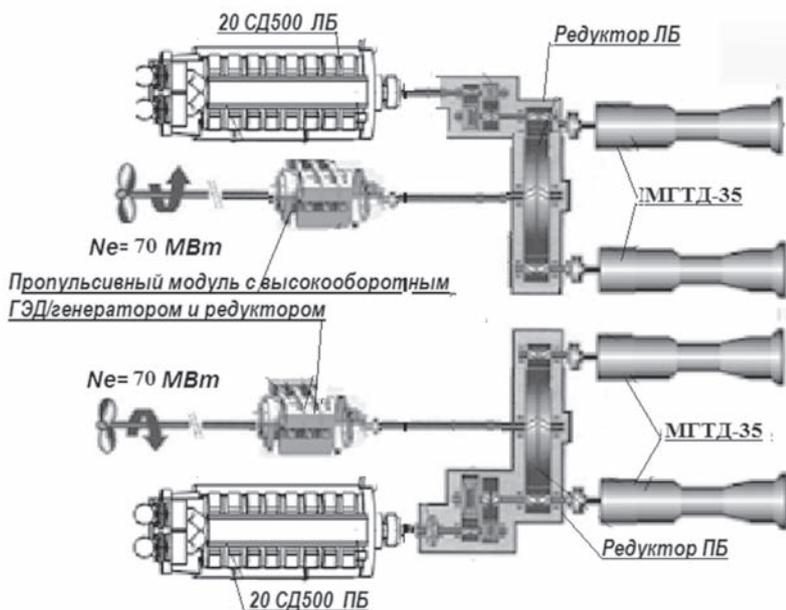


Рис. 7. Структурная схема ЭУ перспективного тяжелого эсминца ($D \geq 14 000 \text{ т}$) и легкого авианосца ($D \leq 70 000 \text{ т}$)

авианосца нет необходимости, так как такие корабли не предназначены для осуществления поисковых режимов с буксируемой ГАС.

При этом скорость полного хода эсминца при использовании перспективных ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью $4 \times 35 \text{ МВт}$ составит не менее 33 уз, а авианосца – не менее 29 уз. На маршевых ходах при использовании дизельных двигателей 20СД500 ($2 \times 7350 \text{ кВт}$) скорость хода эсминца составит не менее 16 уз и авианосца 14 уз.

Таким образом, на основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что концепция обоснования облика ЭУ перспективных многоцелевых кораблей в конструкторских бюро-проектантах должна быть кардинально пересмотрена. В этой концепции обязательно должно найтись место пропульсивному модулю, встраиваемому в валопровод, что будет способствовать повышению боевых и эксплуатационных характеристик перспективных надводных кораблей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – № 1. – С. 54–61; № 3. – С. 58–61.
2. Шинкоренко Д. Разработка новых энергетических установок за рубежом – шаг к кораблям нового поколения // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 11. – С. 62–70.
3. Хализов А. Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 67–74.
4. 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 «Национальная технологическая база» на 2007 – 2011 годы».
5. ОДК формирует научно-технический задел для создания морских двигателей 5-го поколения. – Интернет-ресурс: <https://www.aviaport.ru/digest/2018/03/01/529125.html>.
6. Чутин П. В. Российский газотурбинный двигатель М90ФР. – Доклад на секции НТО им. А. Н. Крылова, СПб., 21.03.2018.
7. Чутин П. В. Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД. – Доклад на межотраслевой науч.-практ. конф. «ВОКОР-2018», ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018. ■

Коррозионная стойкость жаропрочных сплавов часто оценивается по изменению массы материала в результате работы в агрессивной среде. В настоящей работе рассматривается повреждение металлов при работе в морских условиях, когда продукты сгорания топлива содержат соли морской воды и, в первую очередь, сульфат натрия Na_2SO_4 .

Металлы, находящиеся в газовом потоке, взаимодействуют с серой, образуя характерные соединения: NiS, CoS, CrS, TiS, Al_2S_3 , MoS_2 , WS_2 , NbS_2 , FS [8]. В результате на первом этапе взаимодействия масса металлов и, соответственно, сплава, увеличивается за счет присоединения серы.

В последующем, через 3–20 минут, при температурах 700 – 950 °С начинается отторжение металла, и масса сплава уменьшается [3].

Первый этап, когда масса материала увеличивается, показывает скорость взаимодействия сплава с рассматриваемой агрессивной средой. Для жаропрочных сплавов скорость взаимодействия такова, что соотношение «сплав: сера» в среднем составляет около 2,0. То есть 1 г присоединенной серы разрушает около 2 г сплава.

Коррозионные испытания на стенде в газовом потоке с солями морской воды показали, что в течение не менее 100 часов масса сплавов уменьшается на величину, близкую к величине, которую он приобрел на первом этапе за счет присоединения серы [4]. В то же время окалина, образующаяся в результате коррозии, должна содержать в три раза больше материала: собственно сера плюс в два раза большее количество поврежденного металла. В результате получается видимость «инкубационного периода», когда прямые измерения массы образцов по ходу испытаний фиксируют их увеличение.

Такая ситуация может продолжаться до 1000 ч и более [5], приводя, в конечном счете, к «катастрофической коррозии» за счет резкого уменьшения массы в результате отторжения накопленной окислы.

На протяжении более или менее 100 часов имеет место большой разброс результатов, т. е. количества отторгаемого металла [4], что не позволяет оценить реальную величину потери массы.

Следовательно, для экспериментальной оценки реального изменения массы металлов необходимы длительные испытания, которые будут включать и период «катастрофической коррозии».

Как показали исследования [6], в течение первых 100 часов испытаний на газодинамическом стенде с обновляющейся, но постоянной солевой нагрузкой* наблюдаемые скорости изменения массы образцов достаточно стабильны.

* Солевая нагрузка, параметр, предложенный для учета влияния большинства факторов, определяющих скорость коррозии: скорость газового потока, удельное содержание солей в газовом потоке и других, равняется отношению количества солей, поступающих на поверхность металла, к площади этой поверхности за единицу времени, г/м²ч.

ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

А.З. Багерман, канд. техн. наук, руководитель секции «Судовые энергетические установки» РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
С.А. Заводов, канд. техн. наук, гл. инженер опытного завода ПАО «ОДК-Сатурн», г. Рыбинск,
контакт. тел. (812) 710 4011, +7 (921) 981 0322, (4855) 32 9724

Поэтому для оценки коррозионной стойкости металлов в реальный промежуток времени целесообразно использовать метод сравнения с эталонным металлом/сплавом, прошедшим длительную эксплуатацию в условиях возможного коррозионного поражения. В настоящее время в качестве такого эталонного сплава может использоваться коррозионно-стойкий литейный жаропрочный никелевый сплав марки ЧС88.

Сравнение следует вести по *целевым параметрам*: скорости взаимодействия сплава с серой и скорости потери массы металлом. Эти оценки могут быть получены двумя способами.

Первый способ – расчетный, второй – комбинированный, когда скорость взаимодействия сплава с серой оценивается в результате испытаний на газодинамическом стенде в газовом потоке, содер-

жащем аэрозоли морских солей, а скорость потери массы металлом/сплавом путем расчета.

Первый способ. Для расчета учитывают химический состав рассматриваемого сплава, плотность чистых металлов, входящих в его состав, химические соединения, получающиеся при взаимодействии отдельных металлов с серой, опытные значения скорости взаимодействия металлов с серой при различных температурах.

Опытные значения скоростей взаимодействия металлов с серой были получены после обработки результатов коррозионных испытаний различных сплавов на газодинамическом стенде в газовом потоке в диапазоне температур 700 – 900 °С [1, 9]. В табл. 1 представлены эти параметры.

Порядок оценки скорости взаимодействия сплава с серой $V_{рс}$ и скорости

Таблица 1
Скорость взаимодействия чистых металлов с серой, г/м²·ч

T, °C	Ni	Co	Cr	W	Mo	Al	Ti	Nb	Fe
700	1,65	1,4	1,4	1,75	1,65	1,23	0,76	1,0	1,5
800	3,94	3,3	3,6	4,23	4,0	2,7	1,76	2,65	2,4
900	4,60	4,5	4,0	6,75	6,5	4,7	2,9	4,1	3,9

Таблица 2
Порядок оценки скорости присоединения массы к сплаву и скорости повреждения сплава

№ п.п.	Параметр	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb	Σ
1	$g, \%$	58,0	16,0	11,0	1,9	5,3	4,6	3,0	-	0,2	
2	$V, \text{см}^3/\text{г}$	0,12	0,14	0,112	0,097	0,056	0,40	0,37	0,126	0,116	
3	$V_g \times 100, \text{см}^3$	6,96	2,24	1,23	0,18	0,27	1,84	1,11	-	0,02	13,853
4	$A = \frac{V \times g \times 100}{\sum V_i \times g_i \times 100}$	0,502	0,16	0,088	0,013	0,019	0,13	0,08	-	0,001	
5	$V_{рс}, 900 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{г}/\text{м}^2\text{ч}$	4,6	4,0	4,5	6,5	6,75	2,9	4,7	4,1	3,9	
6	а.в., г/моль	58	52	59	96	184	48	27	56	93	
7	Формула	NiS	CrS	CoS	MoS_2	WS_2	TiS	Al_2S_3	FeS	NbS_2	
8	$M_m = M/S$	1,81	1,62	1,84	1,5	2,87	1,5	1,12	1,75	1,45	
9	$\Delta M_s, \text{г}/\text{м}^2\text{ч}$	2,3	0,64	0,19	0,08	0,13	0,378	0,37	-	0,004	4,28
10	$\Delta M_{sp}, \text{г}/\text{м}^2\text{ч}$	4,16	1,03	0,71	0,12	0,37	0,567	0,41	-	0,006	7,36

Здесь п. 1 – химический состав сплава; п. 2 – удельный объем чистых металлов; п. 3 – объем, занимаемый металлом в 100 г сплава, суммарный объем всех металлов в 100 г сплава; последний столбец – общий объем сплава; п. 4 – относительный объем, занимаемый металлом в общем объеме сплава; п. 5 – расчетная скорость присоединения серы к чистым металлам при температуре 900 °С, см. табл. 1; п. 6 – вес одного г-моля чистого металла; п. 7 – формула соединений металлов с серой [8]; п. 8 – соотношение масс металла и серы в каждом соединении; п. 9 – количество серы, присоединенной к каждому металлу; рассчитывается по формуле $\Delta M_s = V_{рс} \cdot A$. Относительная величина площади, занимаемой каждым металлом на поверхности сплава A_i , принята равной величине его относительного объема в сплаве. Общее количество серы, присоединенной сплавом, указано в последнем столбце; п. 10 – количество поврежденного металла $\Delta M_{mi} = \Delta M_s \cdot M_m$ для каждого чистого металла. Общее количество поврежденного сплава указано в последнем столбце.

Порядок оценки скорости повреждения сплава при известной скорости присоединения массы к нему

№ п.п.	Параметр	Ni	Cr	Co	Mo	W	Ti	Al	Fe	Nb	Σ
1	$g_p, \%$	58,0	16,0	11,0	1,9	5,3	4,6	3,0	-	0,2	
2	$V, \text{см}^3/\text{г}$	0,12	0,14	0,112	0,097	0,056	0,40	0,37	0,126	0,116	
3	$V \times g \times 100, \text{см}^3$	6,96	2,24	1,23	0,18	0,27	1,84	1,11	-	0,02	13,853
4	$A = v \times g \times 100 / \sum v_i \times g_i \times 100$	0,502	0,16	0,088	0,013	0,019	0,13	0,08	-	0,001	
5	$V_{рс}, 900 \text{ }^\circ\text{C}, \text{г}/\text{м}^2\text{ч}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Опытная величина
6	а.в., г/моль	58	52	59	96	184	48	27	56	93	
7	Формула	NiS	CrS	CoS	MoS ₂	WS ₂	TiS	Al ₂ S ₃	FeS	NdS ₂	
8	$M_m = M_i/S$	1,81	1,62	1,84	1,5	2,87	1,5	1,12	1,75	1,45	
9	$M_{отн}$	0,908	0,26	0,16	0,19	0,054	0,19	0,09	-	0,001	1,68
10	$\Delta M_m, \text{г}/\text{м}^2\text{ч}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ΔM_m

потери массы сплавом ЧС88 представлен в табл. 2.

Результаты коррозионных испытаний различных жаропрочных сплавов показали [1], что скорость присоединения серы к жаропрочному сплаву ΔM_s не должна превышать: при температуре 700 °С – 1,5 г/м² ч, при 800 °С – 3,0 г/м² ч, при 850 °С – 3,5 г/м² ч, при 900 °С – 4,3 г/м² ч (табл. 3).

Рассмотренный способ оценки коррозионной стойкости жаропрочных сплавов может использоваться и при разработке новых сплавов.

Второй способ. Предполагает проведение испытаний на коррозионную стойкость сплавов в газовом потоке. При этом экспериментально определяют совокупное количество серы, присоединяемой к сплаву, т.е. параметр ΔM_s для сплава. Расчет целевых параметров по табл. 2 выполняют при следующей ее корректировке: в п. 5 значения $V_{рс}$ для чистых металлов не приводят, указывают в колонке Σ лишь опытное значение для всего сплава; в п. 9 приводят значение новой характеристики – «оценки соотношения металл/сера для сплава», а именно, для всех чистых металлов, составляющих сплав, определяется величина $M_{iотн} = M_i \cdot A_i$, где M_i и A_i берут из пп. 8 и 4. Здесь же оценивается сумма этих величин в колонке Σ, которая является отношением количества поврежденного металла к количеству присоединенной серы ($\Delta M_m / \Delta M_s$) сплава; п. 10 – количество поврежденного металла ΔM_m , определяется как произведение опытного значения ΔM_s (п. 5) на соотноше-

ние сплав/сера $\sum M_{iотн}$ (п. 9) – $\Delta M_m = \Delta M_s \cdot \sum M_{iотн}$. Таким образом, табл. 2 преобразуется в табл. 3.

Величина присоединенной массы в процессе испытаний зависит при неизменной температуре газового потока от величины солевой нагрузки [6, 7].

Эта зависимость имеет максимум [6, 7], поэтому при определении скорости присоединения массы надо использовать значения, полученные на нескольких образцах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В статье представлен алгоритм оценки коррозионной стойкости жаропрочных сплавов через изменение их массы в процессе испытаний (работы) в газовом потоке, содержащем аэрозоли солей морской воды.

2. Представлены два способа оценки коррозионной стойкости: при отсутствии опытных данных по рассматриваемому сплаву – прогнозный, а также по результатам испытаний в газовом потоке с солями морской воды

3. Оценка коррозионной стойкости сплава выполняется путем сравнения полученных результатов по скорости присоединения серы к сплаву и повреждению сплава с аналогичными данными, полученными при испытаниях жаропрочных сплавов и в первую очередь сплава ЧС88.

Удовлетворительной коррозионная стойкость сплава будет при скорости присоединения серы к сплаву, не более: при температуре 700 °С – 1,5 г/м²ч, при 800 °С – 3,0 г/м²ч, при 850 °С – 3,5 г/м²ч, при 900 °С – 4,3 г/м²ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багерман А.З., Леонова И.П. Оценка скорости солевой коррозии металлов в составе сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2019. – № 1-2. – С. 32–34.
2. Багерман А.З., Конопатова А.В., Леонов И.П. О своеобразии коррозионных характеристик жаропрочного сплава ЧС88-ВИ // Газотурбинные технологии. – 2017. – №7. – С. 34–35.
3. Багерман А.З., Леонова И.П., Киришина А.А. Оценка стойкости материалов к солевой коррозии // Газотурбинные технологии. – 2018. – №2. – С. 30–31.
4. Багерман А.З., Конопатова А.В., Леонова И.П. Особенности начального этапа развития процесса горячей солевой коррозии металла // Тяжелое машиностроение. – 2017. – №3. – С. 17–19.
5. Никитин В.И. Коррозия и защита лопаток газовых турбин. – Л.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
6. Багерман А.З., Молчанов А.С., Писарев Б.К., Гусарин О.Г. Особенности коррозионного повреждения жаропрочных сплавов // Газотурбинные технологии. – 2012. – №1. – С. 18–20.
7. Багерман А.З., Леонова И.П., Хорошев В.Г. Экспресс-оценка коррозионной стойкости жаропрочных сплавов // Газотурбинные технологии. – 2012. – №4. – С. 42–43.
8. Бабынькина А.Н., Бабынькина А.Н. Исследование кинетики разрушения сплавов и защитных покрытий в условиях высокотемпературной сульфидно-оксидной коррозии // Обеспечение надежности лопаток газовых турбин: Сб. НТО судостроителей. – 1989. – Вып.473. – С. 42–48.
9. Багерман А.З. Оценка скорости окисления и сульфидирования отдельных металлов в составе жаропрочных сплавов // Тяжелое машиностроение. – 2018. – №4. – С. 26–28. ■

ВВЕДЕНИЕ

При создании сложных машиностроительных изделий, к которым, без сомнения, относятся судовые машины и механизмы, важная роль отводится проектированию. Отвечая на вопрос, что такое проектирование, можно дать следующее определение: «проектирование – это творческий процесс создания нового изделия, которое по своим техническим, эксплуатационным, экономическим, технологическим, экологическим и другим свойствам превосходит современные аналоги». Данное определение несет большую смысловую нагрузку. Прежде всего, оно предполагает рассмотрение нескольких проектных решений. В результате их сравнения появляется возможность выбора наилучшего решения либо весьма близкого к таковому. Выбор наилучшего проектного решения базируется на количественных оценках качества проектируемого изделия. В подавляющем большинстве именно количественные оценки выступают в качестве допустимости и конкурентоспособности предлагаемых технических решений. Все это означает, что решение проектной задачи неразрывно связано с применением математических методов расчета и численных процедур моделирования.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

До недавнего времени повышенное внимание уделялось расчетам прочности, а именно статическим методам расчета. Если кратко, то суть статических расчетов прочности сводится к сопоставлению напряжений, вычисляемых по формулам сопротивления материалов и строительной механики машин, с напряжениями, которые характеризуют прочность материала. На этом основании разрушение детали удается избежать, если выполняется условие прочности, которое имеет вид

$$\sigma \leq [\sigma],$$

где σ – расчетное (номинальное) напряжение, в случае многоосного напряженного состояния это напряжение, приведенное с помощью одной из теорий прочности к эквивалентному линейному; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение.

При назначении допускаемых напряжений стремятся по максимуму использовать прочностные свойства материала, учитывать их рассеивание и неопределенности, связанные с изготовлением и нагружением детали при эксплуатации машины. Все это свидетельствует о том, что допускаемым напряжениям присуща большая доля субъективизма.

ИДЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПЕРЕХОДА ОТ РАСЧЕТОВ ПРОЧНОСТИ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

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

Отсюда вытекает условность статического расчета прочности [2].

В настоящее время доминируют расчеты прочности на выносливость. По сравнению со статическими расчетами, в которых исходят из того, что усилия, нагружающие деталь, не изменяются во времени, расчеты на выносливость учитывают переменный характер действующих усилий. Их периодичность определяется рабочим циклом машины. Следовательно, расчет на выносливость базируется на явлении усталости материала. Под усталостью материала понимают процесс зарождения и развития трещины до критических размеров под действием циклических напряжений. До сих пор явление усталости принято объяснять на основе известной кривой усталости Велера, полученной опытным путем в 1930 г. Данная кривая связывает количество циклов нагружения до разрушения с действующими напряжениями. Соответственно по кривой Велера устанавливается предел выносливости при симметричном цикле нагружения σ_{-1} – это максимальное напряжение, которое выдерживает материал детали, базовое число циклов нагружений до разрушения. Для многоциклового усталости при $N_B = 10^6 \div 10^7$ циклов

$$\sigma_{-1} = (0,55 - 0,0001 \sigma_b) \sigma_b;$$

$$\tau_{-1} = \sigma_{-1} / \sqrt{3},$$

где σ_b – предел прочности материала при статическом растяжении.

Основу инженерных расчетов прочности на выносливость составляют экспериментальные диаграммы предельных напряжений (диаграмма Смита) и предельных амплитуд (диаграмма Хейя), рис. 1.

По оси ординат диаграммы предельных напряжений откладывают наибольшее напряжение цикла σ_{max} , а диаграммы предельных амплитуд – амплитуду σ_a . По оси абсцисс в обеих диаграммах – среднее напряжение σ_m . Линия ABCD на диаграммах является границей между безопасными и опасными циклами. Поэтому точки, расположенные ниже этой линии, соответствуют

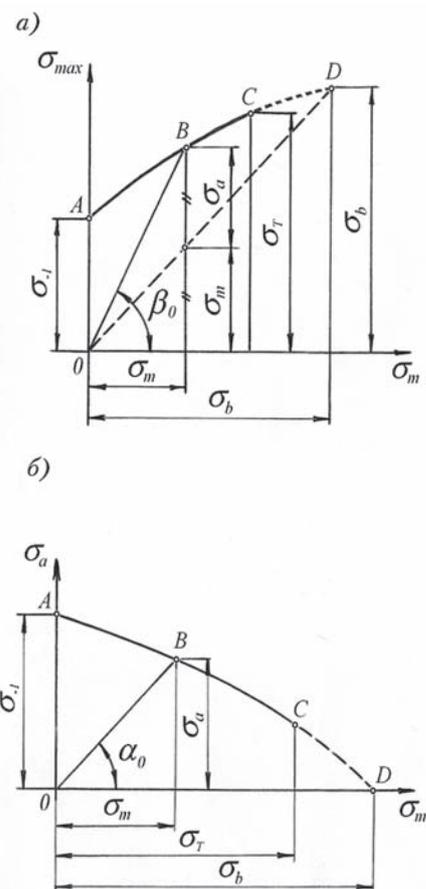


Рис. 1. Диаграммы предельных напряжений (а) и амплитуд (б)

безопасным циклам, они не вызывают разрушение образцов при $N < N_B$. Напротив, точки, расположенные выше линии ABCD, характеризуют усталость материала. Точка D диаграммы определяет предел прочности материала, а луч 0B, исходящий из начала координат, является геометрическим местом точек подобных нулевых циклов. На рассматриваемых диаграммах практическое значение для прочности имеет область, ограниченная пределом текучести (точка C). Этим объясняется проведенная пунктиром линия CD.

В результате аппроксимации дуги АВ прямой получены формулы, позво-

ляющие рассчитывать коэффициенты запаса прочности при определении выносливости:

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1} k_y}{\sigma_a \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma} \beta_{\sigma} \beta_k} + \psi_{\sigma} \sigma_m};$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1} k_y}{\tau_a \frac{K_{\tau}}{\varepsilon_{\tau} \beta_{\tau} \beta_k} + \psi_{\tau} \tau_m}.$$

Для напряженного состояния, которое обусловлено одновременным действием нормальных и касательных напряжений, суммарный коэффициент запаса прочности

$$n = \frac{n_{\sigma} n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}}.$$

Впервые приведенные формулы для коэффициентов запаса прочности были получены С. В. Серенсенем и Р. С. Кинашвили. В настоящее время они являются общепризнанными при расчете деталей машин на выносливость.

Строго говоря, эти формулы справедливы для циклов со знакопеременными напряжениями. Для знакопостоянных циклов дугу BD также заменяют прямой. В результате

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_T \chi_{\sigma} k_y}{\sigma_a \frac{K_{\sigma}}{\varepsilon_{\sigma} \beta_{\sigma} \beta_k} + \chi_{\sigma} \sigma_m};$$

$$n_{\tau} = \frac{\tau_T \chi_{\tau} k_y}{\tau_a \frac{K_{\tau}}{\varepsilon_{\tau} \beta_{\tau} \beta_k} + \chi_{\tau} \tau_m},$$

где χ_{σ} – коэффициент приведения предела текучести, численно равный

$$\chi_{\sigma} = \operatorname{tg} \psi'_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_T (1 + \psi_{\sigma}) - \sigma_{-1}}.$$

По существу приведенные формулы означают, что при выполнении расчетов прочности на выносливость необходимо разграничивать циклы переменных напряжений на знакопеременные и знакопостоянные. Различия между ними заключаются в следующем: для знакопеременных циклов максимальное напряжение ограничивается пределом выносливости, и их отличительным признаком служит неравенство $\sigma_a > \sigma_m$. В случае знакопостоянных циклов $\sigma_m > \sigma_a$ запас прочности определяется по отношению к пределу текучести. Прочность на выносливость зависит не только от вида цикла переменных напряжений, но и от формы и размеров детали, состояния ее поверхности, способа механической и термической обработки. Влияние указанных факторов учитывается коэффициентами концентрации напряжений K_{σ} , K_{τ} , абсолютными размерами ε_{σ} , ε_{τ} , состоянием поверхности β_{σ} , β_{τ} , коррозией β_k , упрочнением k_y . Подробнее о влиянии этих факторов на усталость детали сказано в [4].

Таким образом, конечная цель расчета деталей на выносливость сводится

к определению коэффициентов запаса прочности и сопоставлению их с допустимым значением. Иначе говоря, деталь считается работоспособной, если для всех опасных сечений выполняется неравенство

$$n > n_{\min},$$

где n и n_{\min} – расчетный (номинальный) и минимально допустимый коэффициент запаса прочности соответственно.

Более оправданно работоспособность деталей определять не величиной коэффициента запаса прочности, а тем, насколько он превышает допустимое значение. Стремление к увеличению фактического запаса прочности сверх разумной величины ведет к завышению габарита и массы детали, что в отдельных случаях становится экономически неоправданным или вообще недопустимым. Следовательно, правильное задание запаса прочности является неотъемлемой частью расчета на выносливость, и оно в немалой степени зависит от точности определения минимально допустимого коэффициента запаса прочности n_{\min} .

По существующей до сих пор традиции величину n_{\min} назначают практически директивно, исходя из сопоставления результатов расчета с информацией об отказах деталей во время их эксплуатации. В большинстве случаев принимают $n_{\min} = 1,5 \div 2,0$. Однако при высоком уровне технологии изготовления, использовании современных средств дефектоскопии, полном учете конструктивных особенностей детали и действующей нагрузки величину n_{\min} снижают до 1,3–1,5. Напротив, для ответственных деталей, разрушение которых может вызывать аварийные ситуации с тяжелыми последствиями, значения n_{\min} должны повышаться. В известной мере здесь проявляется условность задания допустимого коэффициента запаса прочности.

Все это говорит о неоднозначности запаса прочности как величины оценки работоспособности детали, и делает сам термин «прочность» неопределенным понятием. В этих условиях корректнее оперировать не с прочностью, а с долговечностью. Оправданно это еще и потому, что усталость по определению – длительный процесс, его длительность от зарождения трещины до ее разрушающего воздействия обычно соизмеряют с базовым числом циклов нагружения. Точнее оценить эту длительность, а, по сути, долговечность до разрушения, можно, пользуясь аппроксимирующими зависимостями кривой усталости. Наибольшее применение в инженерных расчетах получила следующая зависимость [1]:

$$N = N_B (\sigma_{-1} / \sigma)^m.$$

Входящее в (1) отношение напряжений представляет собой не что иное, как запас прочности. С учетом этого, а также того, что каждый цикл нагружения совпадает с одним оборотом машины, долговечность, выраженная в часах, будет

$$T = T_B (n / n_{\min})^m.$$

В действительности не так все просто. Дело в том, что во время эксплуатации машины работают на различных режимах, соответственно оценивать долговечность их деталей надо для каждого режима в отдельности и при этом учитывать действующие напряжения и длительность работы на режиме t_i . Решается эта задача с привлечением одной из известных гипотез накопления повреждений. В отечественной инженерной практике расчета усталостной долговечности чаще всего пользуются корреktированной гипотезой линейного суммирования повреждений, предложенной В. П. Когаевым. Согласно данной гипотезе, долговечность деталей в условиях их действительного нагружения может быть определена из уравнения [5]

$$T = \frac{T_B a_p}{\sum_{i=1}^r \frac{x_i}{(n_i / n_{\min})^m}}, \quad (1)$$

где x_i – доля времени работы машины на i -м режиме, $x_i = t_i / T$, причем $\sum_{i=1}^r x_i = 1$; r – количество эксплуатационных режимов.

Величина a_p , входящая в (1), является корректирующей поправкой известной гипотезы Пальмгрена – Майнера. Для напряженного состояния, которое задается коэффициентами запаса прочности,

$$a_p = \sum_{i=1}^r \frac{n_{\min}^* / n_{\min}}{n_i / n_{\min}} x_i,$$

где n_{\min}^* – минимальное значение коэффициента запаса прочности из совокупности n_i .

Строго говоря, расчеты по выражению позволяют прогнозировать долговечность только для первой стадии усталостного разрушения, которая завершается образованием первых макроскопических трещин глубиной 0,2–0,5 мм. Поскольку такие трещины практически не ослабляют поперечные сечения, это свидетельствует о том, что детали с видимой трещиной обладают определенным запасом прочности и могут эксплуатироваться, не представляя опасности для машины в целом. Следовательно, в этом случае должна идти речь об остаточной долговечности, в течение которой трещина будет расти до критического размера, после чего наступает окончательное разрушение детали.

На этой стадии усталости материала основным фактором развития трещины служит величина коэффициента интен-

сивности напряжений K . По сути, этот коэффициент характеризует концентрацию напряжений у вершины трещины. В общем случае этот коэффициент вычисляется по формуле [3]

$$K = Y\sigma\sqrt{\pi\ell}, \quad (2)$$

где Y – коэффициент, зависящий от вида нагружения и геометрии детали, σ – эквивалентное напряжение, подсчитанное без учета трещины, ℓ – длина трещины.

По величине коэффициента интенсивности напряжений также судят о степени опасности трещины. Если $K < K_h$, то трещина не растет или растет очень медленно, соответственно опасности разрушения детали нет. Напротив, условие $K > K_c$ эквивалентно неуправляемому росту трещины и разрушению детали. Здесь K_h и K_c – значения порогового и критического коэффициента интенсивности напряжений, равные

$$K_h = \left[\frac{12,7 - 0,006\sigma_T - (11,37 - 0,0065\sigma_T)R}{1 - R} \right];$$

$$K_c = \sqrt{(\vartheta_{\max} - \vartheta_{\min}) \frac{\pi\sigma_T E}{2 \cdot 10^{-3} Y} + K_h^2}.$$

В этих формулах σ_T и E – предел текучести и модуль упругости материала детали, МПа; R – коэффициент асимметрии цикла переменных напряжений; ϑ_{\min} – минимальная скорость роста трещины, можно считать $\vartheta_{\min} = 10^{-10} \div 10^{-11}$ мм/цикл; ϑ_{\max} – максимальная скорость роста трещины, зависит от вида напряженного состояния.

Величины K_i и K_c позволяют определить начальную ℓ_0 и критическую длину трещины ℓ_c . На основании (2)

$$\ell_0 = \frac{K_i^2}{\pi Y^2 \sigma_{-1}^2}, \quad \ell_c = \frac{K_c^2}{\pi Y^2 \sigma_T^2}.$$

Однако корректнее определять критическую длину трещины на основе энергетического критерия Гриффитса [6]. Тогда для плоского напряженного состояния

$$\ell_c = 0,3 \frac{K_c^2}{E\sigma_T}.$$

По имеющимся данным, критический размер трещины реальных деталей судовых машин и механизмов может достигать десятков миллиметров: по длине 50–80 мм и глубине 12–15 мм.

В линейной механике разрушения для описания скорости роста трещины в диапазоне от K_i до K_c предложено несколько зависимостей. Из них наиболее

известна формула Париса, которую с учетом возможной пластичности в вершине трещины можно записать так [5]:

$$\frac{d\ell}{dN} = C (C_1 \Delta\sigma \sqrt{\pi\ell})^q, \quad (3)$$

где C и q – величины, которые зависят от механических свойств материала детали и условий ее нагружения; $\Delta\sigma$ – размах действующих переменных напряжений, C_1 – поправочный коэффициент на пластичность, равный

$$C_1 = \frac{\Delta K_c}{\Delta\sigma \sqrt{\pi\ell_c}}.$$

После разделения переменных выражение (3) принимает вид

$$\int_{\ell_0}^{\ell_c} \ell^{-(q/2)} d\ell = \int_0^N C (C_1 \Delta\sigma \sqrt{\pi})^q dN.$$

Таким образом, остаточная долговечность детали с трещиной определяется в результате интегрирования последней зависимости. Понятно, что эта долговечность будет справедлива для регулярного нагружения. При нерегулярном нагружении расчет выполняется последовательно для всех режимов в отдельности с припасовыванием длин трещины. Когда трещина достигнет критического размера, то это будет соответствовать искомой долговечности. Возможен и другой путь определения остаточной долговечности, а именно через приведения напряжений на различных режимах к одному эквивалентному напряжению с соответствующим изменением длительности каждого режима на эквивалентную величину. Следовательно, пользуясь понятием эквивалентных напряжений, можно заменить вычисления каждого режима одним расчетом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях постоянно возрастающих требований к проектным решениям уже недостаточно ограничиваться расчетами прочности и судить о качестве машины только по величине запаса прочности их деталей. Объективнее оценивать работоспособность деталей долговечностью не косвенно, а непосредственно, выражая ее в конкретных величинах, например, часах работы машины. Умение прогнозировать долговечность расчетным путем позволяет на этапе эскизного проектирования предупредить многие отказы и аварийные ситуации машин, вызванные поломкой

их деталей. Актуальность определения долговечности обуславливается также существующей тенденцией проектирования механизмов на заданный эксплуатационный ресурс. Все это вызывает необходимость пересмотра сложившихся взглядов на расчеты прочности, которые должны дополняться расчетами долговечности.

Более того, прогнозирование долговечности постепенно становится обязательной частью любой проектной задачи, поскольку результаты этого расчета служат количественной мерой оценки конкурентоспособности проектируемой машины или механизма. Собственно этим объясняется направленность статьи. В ней представлены основные положения расчета долговечности для двух стадий усталостного разрушения: стадии зарождения и образования микротрещины и стадии ее роста до критических размеров, после которых происходит окончательная поломка детали. На этом основании предлагается различать термины долговечность и остаточная долговечность. Просто долговечностью оценивают ресурс новых деталей, не имеющих видимых трещин. Понятие остаточная долговечность справедливо для деталей, которые изначально имеют трещины или трещиноподобные дефекты. Несмотря на то, что в основе расчета долговечности и остаточной долговечности лежат одни и те же физические процессы усталости материала, рассчитываются они по разным методикам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Когаев В. П., Махутов Н. А., Гусенков А. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
2. Коллинз Дж. Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. – М.: Мир, 19784. – 624 с.
3. Пестриков В. М., Морозов Е. М. Механика разрушения твердых тел: курс лекций. – СПб.: Профессия, 2002. – 320 с.
4. Петин С. В. Основы инженерных расчетов усталости судовых конструкций. – Л.: Судостроение, 1990. – 224 с.
5. Румб В. К. Прочность и долговечность судовых машин и механизмов: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2014. – 237 с.
6. Сиратори М., Миеси Т., Маццута Х. Вычислительная механика разрушения – М.: Мир, 1986. – 334 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Технические требования (ТТ) к новым образцам морской техники формируются с учетом ее назначения. Даже незначительные неточности в технических требованиях к какому-либо параметру могут привести к тому, что созданный образец новой техники не будет качественно превосходить существующие аналоги и его дальнейшее использование окажется нецелесообразным.

Рассмотрим выбор технических требований к электрической передаче мощности на соосные гребные винты противоположного вращения (СГВ).

Двигательный комплекс, включающий СГВ и электрическую передачу мощности на них в виде электропривода в составе одного или двух электромоторов, сочетает наиболее эффективную лопастную систему (СГВ) с точки зрения гидродинамики и наиболее эффективный способ передачи энергии с точки зрения защиты окружающей среды.

Повышение энергетической эффективности судов относится к постоянным задачам, которые решают морские инженеры на протяжении всей истории судостроения при соблюдении других требований, относящихся, например, к снижению виброактивности. Актуальность разработки такого двигательного комплекса в настоящее время дополнительно обусловлена появлением обязательных международных норм энергетической эффективности судов и допустимой степени загрязнения окружающей среды с этих судов, разработанных Международной морской организацией (ИМО) [1–3]. Кроме того, появление международных документов, регламентирующих уровень подводного шума [2, 4, 5], также подтверждает актуальность работы над созданием новых конструкций двигательных установок с СГВ.

Технические требования к электропередаче мощности на СГВ рассмотрены с учетом гидродинамических факторов и определяют следующие параметры:

- соотношение диаметров СГВ и потребляемой ими мощности;
- соотношение оптимальной частоты вращения СГВ и потребляемой ими мощности;
- допустимый диаметр гондолы двигательного-рулевой колонки (ДРК) с СГВ;
- величины упоров и моментов на СГВ при потреблении максимальной мощности.

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С СГВ

При разработке двигателей с электрической передачей мощности на СГВ могут быть применены три основных конструктивных решения:

- с размещением СГВ непосредственно за корпусом судна, а гребных электрических двигателей – в корпусе судна, что соответствует классической компоновке пропульсивной установки (рис. 1);
- ДРК с СГВ и размещением гребных электрических двигателей в ее гондоле (рис. 2);
- гибридная комбинация традиционного гребного винта за корпусом судна и гребного винта ДРК с гребным электрическим двигателем в ее гондоле (рис. 3).

В настоящей статье вариант гибридной комбинации традиционного гребного винта за корпусом судна и гребного винта ДРК (см. рис. 3) не рассматривается, так как привод каждого из этих винтов в такой конструкции осуществляется по известным способам, характерным для

О ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЯХ К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕ МОЩНОСТИ НА СООСНЫЕ ГРЕБНЫЕ ВИНТЫ ПРОТИВОПОЛОЖНОГО ВРАЩЕНИЯ

*А.Р. Тогуниц, 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. науч. сотрудник
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812) 327 2802, +7 (921) 337 2652*

одиночных гребных винтов. Кроме того, следует отметить, что гибридный двигатель вследствие «разрыва» плавного обтекания ступиц СГВ по гидродинамической эффективности уступает как ДРК с СГВ (см.рис. 2), так и СГВ в составе классической пропульсивной установки (см.рис. 1) [5].

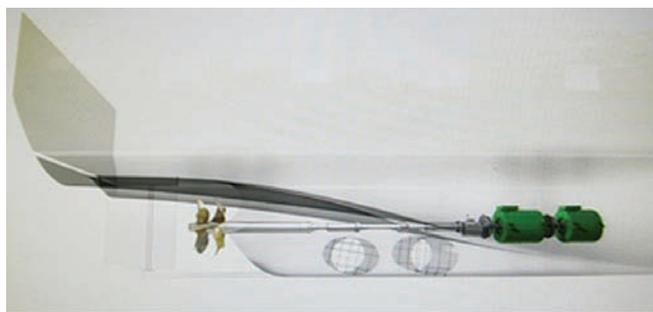


Рис. 1. Классическая компоновка пропульсивной установки с СГВ



Рис. 2. ДРК с СГВ и размещением гребных электродвигателей в гондоле



Рис. 3. Гибридный двигатель с СГВ

К сожалению, сведения о технических характеристиках рассматриваемых двигателей (см. рис. 1 и рис. 2) крайне ог-

раничены в силу того, что они существуют лишь в единичных экземплярах. К первым работам по созданию движителей с СГВ и электрической передачей мощности относятся проектирование и изготовление ДРК с двумя электродвигателями, размещенными в гондоле ДРК, выполненные в Японии в 2004 г. под эгидой министерства земли, инфраструктуры и транспорта (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) для инновационного судна The Super Eco-Ship [6] (см. рис 2). ДРК была испытана, но информация о ее установке на судно и эксплуатации отсутствуют.

Единственная конструкция движителя с СГВ и электрической передачей мощности была реализована на судне снабжения (Platform Supply Vessel) «Juanita». Пропульсивная установка этого судна выполнена в классической компоновке, т.е. гребные электродвигатели размещены в корпусе судна (см. рис. 1). Судно построено на верфи Kleven Verft в Норвегии в 2013 г., а движитель разработан и изготовлен фирмой Scana Volda (Норвегия) совместно с фирмой Inpower (ФРГ). Известные основные технические характеристики движителя судна «Juanita»: мощность электродвигателя переднего гребного винта (его диаметр – 3,8 м) – 2300 кВт, а заднего гребного винта (диаметр – 3,5 м) – 1700 кВт [7, 8].

СОТНОШЕНИЕ ДИАМЕТРОВ СГВ И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ИМИ МОЩНОСТИ

Рассмотрим соотношения величин диаметров СГВ с данными о передаваемой на них мощности. Так как принципиальных отличий в определении величин диаметров одиночных гребных винтов и СГВ при их расположении за корпусом судна нет, для оценочного суждения в отношении диаметра СГВ подходят данные, применяемые при предварительном определении диаметра одиночного гребного винта в зависимости от мощности, потребляемой движителем на полном ходу P_D [9]. На рис. 4 на основе рекомендаций, представленных в [9], показана зона вероятных величин диаметров гребных винтов D в функции от потребляемой ими мощности P_D – см. область между линиями («Справочник по теории корабля»).

Соответствующие соотношения диаметров гребных винтов D и мощностей P_D для трех судов рыбопромыслового флота («Нестор Смирнов», «Атлантик 833» и «Кронштадт» [10], см. рис. 1) иллюстрируют возможность использования этой зоны при определении начальных технических требований к движителям. В указанную зону попали максималь-

ные диаметры СГВ серии ДРК фирмы Rolls-Royce: Contaz10 (1800 кВт), Contaz15 (2200 кВт) Contaz25 (3000 кВт) [11], что дополнительно свидетельствует о применимости зависимости, приведенной на рис. 4, при назначении технических требований к движителям с СГВ по параметрам $D - P_D$.

Для разработки перспективных движителей с СГВ и, соответственно, технических требований к электрической передаче мощности на СГВ выбраны мощности 1800 и 3000 кВт, что обусловлено большим количеством гражданских судов, на которых такие движители могут быть использованы. К ним относятся большие и средние добывающие суда, а также обрабатывающие суда рыбопромыслового флота [10], морские пассажирские суда, научно-исследовательские суда. В то же время наиболее эффективно применение СГВ на судах мощностью, передаваемой на движитель, более 3000 кВт, так как именно на таких судах чаще всего используются гребные винты с дисковым отношением $A_E/A_0 = 0,8 \pm 1,0$, замена которых на СГВ дает максимальный выигрыш в гидродинамической эффективности (10–12%) [12,13].

Несмотря на указанное обстоятельство, разработку движителей с электрической передачей мощности на СГВ целесообразно начать с меньших мощностей (1800 и 3000 кВт), для которых легче найти надежные, рациональные технические решения и отработать их на опытном образце. В дальнейшем с учетом полученного опыта проектирования целесообразно разработать ряд движителей мощностью более 3000 кВт. В перспективе они должны составить конкуренцию зарубежным ДРК фирм АВВ и Rolls-Royce с одиночными гребными винтами и электрической передачей мощности в диапазоне 3000–20000 кВт [12].

С учетом характерных диапазонов диаметров гребных винтов в зависимости от передаваемой на них мощности (см.рис. 4) для мощности $P_D = 1800$ кВт в ТТ принят диапазон диаметров $D = 2,8-3,1$ м, для $P_D = 3000$ кВт – $D = 3,4-3,7$ м.

СОТНОШЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ СГВ И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ИМИ МОЩНОСТИ

В случае одинаковых условий размещения одиночных гребных винтов и СГВ за корпусом судна, т.е. когда их диаметры равны, оптимальная частота вращения СГВ на 25–30% меньше, чем в случае применения одиночных гребных винтов [13]. Этот факт объясняется тем, что СГВ на проектных режимах имеют большие шаго-

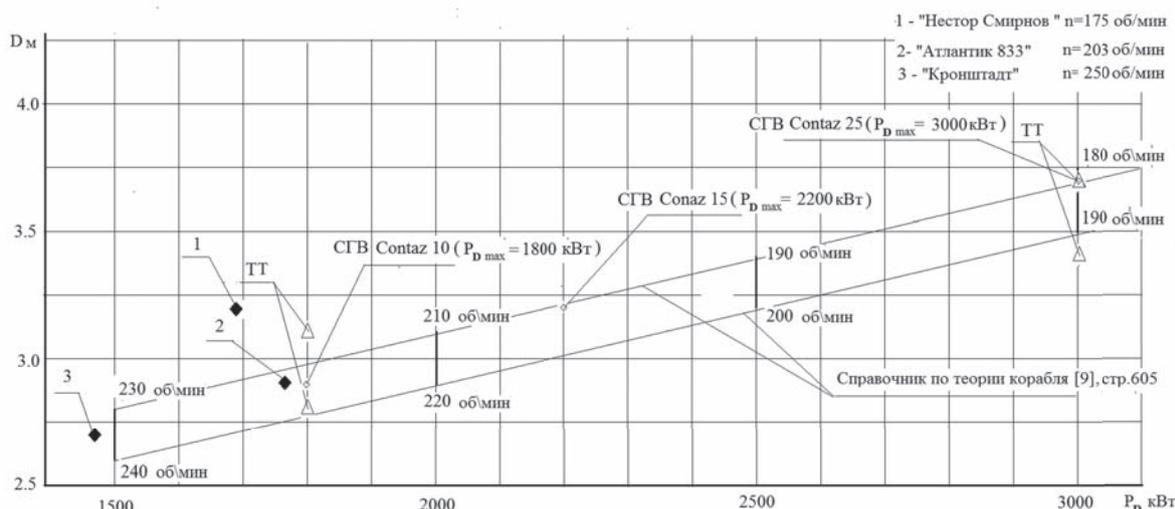


Рис. 4. Характерные диапазоны диаметров гребных винтов D , м, в зависимости от потребляемой ими мощности P_D , кВт
 Δ – значения ТТ (для $P_D = 1800$ кВт $D = 2,8 \div 3,1$ м, для $P_D = 3000$ кВт $D = 3,4 \div 3,7$ м); \diamond – ДРК Contaz (для $P_D = 1800$ кВт $D_{max} = 2,9$ м; для $P_D = 2200$ кВт $D_{max} = 3,2$ м; для $P_D = 3000$ кВт $D_{max} = 3,7$ м); \blacklozenge – проекты судов «Нестор Смирнов», «Атлантик 833» и «Кронштадт»

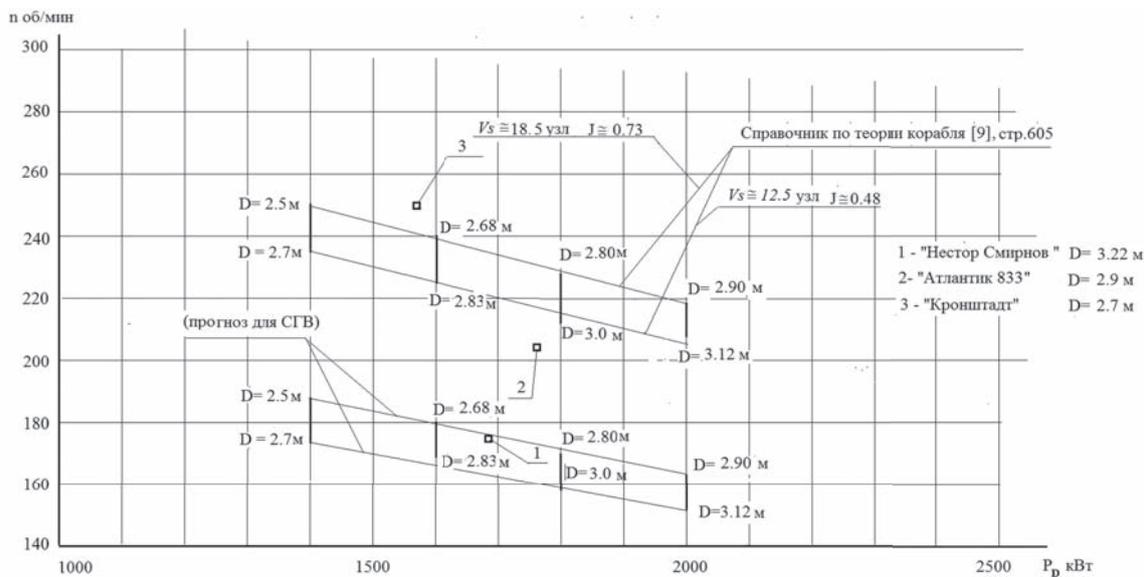


Рис. 5. Характерные диапазоны частоты вращения гребных винтов n , об/мин, в зависимости от потребляемой мощности P_D , кВт

□ – проекты судов «Нестор Смирнов», «Атлантик 833» и «Кронштадт»

вые отношения по сравнению с одиночными гребными винтами, что, в свою очередь, обусловлено их большей гидродинамической эффективностью. На рис. 5, также на основе рекомендаций [9], показана зона наиболее вероятных оптимальных величин частоты вращения одиночных гребных винтов n в функции от потребляемой мощности P_D – см. область между линиями («Справочник по теории корабля»). Расположение аналогичной зоны параметров $n-P_D$ для СГВ существенно отличается от зоны для одиночных гребных винтов (см. рис. 5). Зона $n-P_D$ для СГВ получена уменьшением частоты вращения, характерной для одиночных гребных винтов, на 25%.

Для механической передачи мощности на СГВ уменьшение оптимальной частоты их вращения по сравнению с одиночными гребными винтами не имело принципиального значения при создании пропульсивных установок. Проектировщиками были успешно разработаны соответствующие редукторы как для пропульсивных установок с классической компоновкой, так и с ДРК с СГВ [5].

Для электрической передачи мощности на СГВ пониженная частота вращения винтов – предмет специального рассмотрения, так как требуется в процессе проектирования гребных электродвигателей СГВ изменить их габаритные характеристики по сравнению с электродвигателями одиночных гребных винтов. Наибольшее влияние это обстоятельство скажется на разработке ДРК с СГВ. Как решена эта техническая задача японскими специалистами, неизвестно: в настоящее время, как уже отмечено, нет информации об установке таких движителей на суда [5, 6].

Для классической компоновки пропульсивной установки с СГВ увеличение габаритов электродвигателей менее проблематично. Примером создания классической пропульсивной установки с электрической пе-

редачей мощности на СГВ является судно снабжения «Juanita». Для СГВ этого судна с диаметром переднего гребного винта $D = 3,8$ м частота оптимальных оборотов $n = 144$ об/мин [8]. По отношению к варианту с одиночным гребным винтом, выбранному по рекомендациям [9], оптимальная частота вращения СГВ судна «Juanita» меньше примерно на 15%.

ДОПУСТИМЫЙ ДИАМЕТР ГОНДОЛЫ ДРК С СГВ

При разработке ДРК с одиночным гребным винтом и размещением гребного электродвигателя в гондоле проектировщики много внимания уделили минимизации габаритных характеристик гондолы. Уменьшение диаметра гондолы в конструкциях ДРК обусловлено стремлением к повышению гидродинамической эффективности ДРК путем снижения гидродинамического сопротивления гондолы. В табл. 1 представлены геометрические характеристики компактной конструкции ДРК фирмы АВВ [14].

Максимальное значение относительного диаметра гондолы D_g/D в семействе ДРК Azipod CO составляет 0,55 (см. табл. 1). В технических требованиях к ДРК с СГВ и гребными электродвигателями в гондоле величину $D_g/D = 0,55$ целесообразно принять за максимальное приемлемое значение, рассматривая колонки Azipod CO в качестве аналога. Учитывая величины принятых диаметров, для мощности 1800 кВт диапазон D_g/D составит 0,55–0,50 при $D_g = 1,54$ м, а для мощности 3000 кВт также будет в пределах 0,55–0,50 при $D_g = 1,87$ м.

ОЦЕНКА ВЕЛИЧИН УПОРОВ И МОМЕНТОВ НА СГВ

Для оценки величин упора и момента на валах СГВ выполнены расчеты ходкости типовых судов. В качестве типового судна для мощности 1800 кВт выбран траулер-

Таблица 1

Геометрические характеристики Azipod CO980, CO1250 и CO1400

Azipod	Мощность, кВт	Частота вращения n , об/мин	Диаметр СГВ D , м	Диаметр гондолы, D_g , м	D_g/D	Длина гондолы L , м	L/D_g
CO980	1300–2300	240–365	1,9–2,6	1,04	0,55–0,40	4,8	4,61
CO1250	2100–3900	160–280	2,4–3,5	1,31	0,55–0,37	5,73	4,37
CO1400	3000–4500	120–205	2,7–4,0	1,47	0,55–0,37	6,2	4,22

сейнера. Главные размерения и характеристики траулера-сейнера, принятые в расчетах ходкости, приведены ниже.

Главные характеристики траулера-сейнера

Длина между перпендикулярам L_{pp} , м	43,87
Длина по ватерлинии L , м	45,6
Ширина B , м	11,4
Осадка носом T_p , м	6,47
Осадка кормой T_a , м	6,47
Водоизмещение ∇ , м ³	2084
Абсцисса центра величины X_c , м	-1,2
Подъем центра винта над основной Z_s , м	1,5
Отношение L/B	4,0
Отношение B/T	1,76
Коэффициент общей полноты (по L_{pp}) C_B	0,644
Коэффициент полноты мидель-шпангоута C_M	0,86
Диаметр гребного винта (ГВ) D , м	3,0
Мощность двигателя на одном валу P_s , кВт	2210
Частота вращения гребного вала СГВ RPM , об/мин	135

Результаты расчетов параметров ходкости траулера-сейнера для мощности 1800 кВт приведены в табл. 2. Расчеты выполнены по данным серии соосных гребных противоположного вращения (СГВ) [15,16]. Дополнительно для оценки максимально возможных значений суммарных упора T_Σ и момента Q_Σ СГВ выполнены расчеты на швартовном режиме.

Из результатов расчетов ходкости типового судна выбраны максимальные (базовые) значения суммарных упоров и моментов СГВ (выделены жирным шрифтом), характерные для эксплуатационных режимов, и на их основе назначены соответствующие параметры для ТТ. Численные значения суммарных упоров и моментов СГВ, принятые для ТТ, превышают базовые примерно на 10% ($T_\Sigma = 293$ кН x 1,1 = 320 кН, $Q_\Sigma = 164$ кНм x 1,1 = 180 кНм).

Для рассматриваемой мощности (1800 кВт) диапазон частот вращения СГВ на эксплуатационных режимах, включая швартовный, также определен для ТТ на основании выполненного расчета ходкости: диапазон по базовым значениям (выделены жирным шрифтом в табл. 2) расширен в большую сторону примерно на 15% и принят равным 100–180 об/мин.

Как показывает выполненная оценка, все основные технические решения для движителей с СГВ, в том числе и электрическая передача мощности, при суммарной мощности приводных электродвигателей около 1800 кВт должны обеспечивать следующие эксплуатационные характеристики:

- суммарный момент Q_Σ на валах СГВ до 180 кНм (на швартовном режиме);
- суммарный упор T_Σ СГВ до 320 кН (на швартовном режиме);
- диапазон частоты вращения СГВ на эксплуатационных режимах 100–180 об/мин.

В качестве типового судна для мощности 3000 кВт выбран двухвальный грузопассажирский паром, главные характеристики которого, принятые в расчетах ходкости, приведены ниже.

Главные характеристики грузопассажирского парома

Длина между перпендикулярами L_{pp} , м	124
Длина по ватерлинии L , м	130
Ширина B , м	22
Осадка носом T_p , м	5,1
Осадка кормой T_a , м	5,1
Водоизмещение ∇ , м ³	9460
Абсцисса центра величины X_c , м	-1,4
Подъем центра винта над основной Z_s , м	1,6
Отношение L/B	5,91
Отношение B/T	4,31
Коэффициент общей полноты (по L_{pp}) C_B	0,649
Коэффициент полноты мидель-шпангоута C_M	0,86
Диаметр гребного винта (ГВ) D , м	3,4
Мощность двигателя на одном валу P_s , кВт	3000
Частота вращения гребного вала СГВ RPM , об/мин	130

Результаты расчетов параметров ходкости парома для мощности на одном валу 3000 кВт приведены в табл. 3. Расчеты выполнены также по данным серии соосных гребных винтов противоположного вращения (СГВ) [15,16]. Дополнительно для оценки максимально возможных значений суммарных упора T_Σ и момента Q_Σ СГВ выполнены расчеты на швартовном режиме.

Из результатов расчетов ходкости типового судна (парома) выбраны максимальные (базовые) значе-

Таблица 2

Результаты расчетов параметров ходкости траулера-сейнера мощностью 1800 кВт, оценка величины суммарных упора T_Σ и момента Q_Σ СГВ на швартовном режиме

Шаговое отношение P/D	Момент Q_Σ , кгм (кНм)	Упор T_Σ , кг (кН)	Частота вращения n , об/мин	Диаметр D , м	Скорость V_s , уз	Коэффициент нагрузки по упору CT
1,35	13490 (132)	21200 (208)	126,6	3,0	12,0	2,6
1,35	16700 (164)	29100 (285)	103,8	3,0	0	
0,8	11160 (109,5)	29880 (293)	154,9	3,0	0	

Таблица 3

Результаты расчетов параметров ходкости парома для мощности на одном валу 3000 кВт, оценка величины суммарных упора T_Σ и момента Q_Σ СГВ на швартовном режиме

Шаговое отношение P/D	Момент Q_Σ , кгм (кНм)	Упор T_Σ , кг (кН)	Частота вращения n , об/мин	Диаметр D , м	Скорость V_s , уз
1,41	21650 (212)	27850 (273)	129	3,4	16,5
1,41	29820 (292)	45150 (443)	98	3,4	0
1,1	25140 (247)	45620 (448)	116	3,4	0
0,8	19500 (191)	46060 (450)	150	3,4	0
1,4	34280 (336)	47700 (468)	85	3,7	0
1,1	28910 (284)	48200 (473)	101	3,7	0
0,8	22490 (221)	48820 (479)	130	3,7	0

ния суммарных упоров и моментов СГВ (выделены жирным курсивом), характерные для эксплуатационных режимов. На их основе могут быть назначены соответствующие параметры для ТТ. Численные значения суммарных упоров и моментов СГВ, принятые для ТТ, превышают базовые примерно на 10% ($T_{\Sigma} = 479 \text{ кН} \times 1,1 = 520 \text{ кН}$, $Q_{\Sigma} = 336 \text{ кНм} \times 1,1 = 370 \text{ кНм}$).

Для рассматриваемой мощности (3000 кВт) диапазон частот вращения СГВ на эксплуатационных режимах, включая швартовный, также определен для ТТ на основании выполненного расчета ходкости: диапазон по базовым значениям (выделены жирным шрифтом в табл. 3) расширен в большую сторону почти на 15% и принят в диапазоне 90–170 об/мин.

По выполненной оценке все основные технические решения для движителя с СГВ, в том числе и электрическая передача мощности, при суммарной мощности приводных электродвигателей 3000 кВт должны обеспечивать следующие эксплуатационные характеристики:

- суммарный момент Q_{Σ} на валах СГВ до 370 кНм (на швартовном режиме);
- суммарный упор T_{Σ} СГВ до 520 кН (на швартовном режиме);
- диапазон частоты вращения СГВ на рабочих режимах 90–170 об/мин.

СООТНОШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДРК С СГВ И АНАЛОГОВ (БЛИЗКИХ ПО КОНСТРУКЦИИ К НИМ УСТРОЙСТВ)

Как уже отмечено, аналогом ДРК с СГВ является компактная ДРК Azipod CO с одиночным гребным винтам [14]. ДРК Azipod CO включает синхронный электродвигатель с постоянными магнитами. Выбор конструкции электродвигателя обеспечил ДРК такие преимущества, как уменьшение диаметра гондолы и охлаждение электродвигателя непосредственно заборной водой.

Области эксплуатации электродвигателей ДРК Azipod CO и для ДРК с СГВ в координатах P_D – n существенно различаются (рис. 6).

Пренебрежение при проектировании СГВ оптимальной частотой вращения (использование частоты, характерной для одиночных гребных винтов) приведет к существенной потере гидродинамической эффективности СГВ. На рис. 7 представлены результаты сравнительных расчетов ходкости типового рыболовного судна (см. табл. 2) для трех проектных значений частоты вращения СГВ (при диаметре $D = 3,0$ м и использовании мощности $P_S = 2210$ кВт): 135, 180 и 200 об/мин.

По выполненной оценке проектирование СГВ на частоты вращения 180 и 200 об/мин, характерные для одиночных гребных винтов (см. рис. 5), приводит к уменьшению КПД СГВ на расчетном режиме примерно на 3 и 6%, (см. рис. 7). Еще боль-

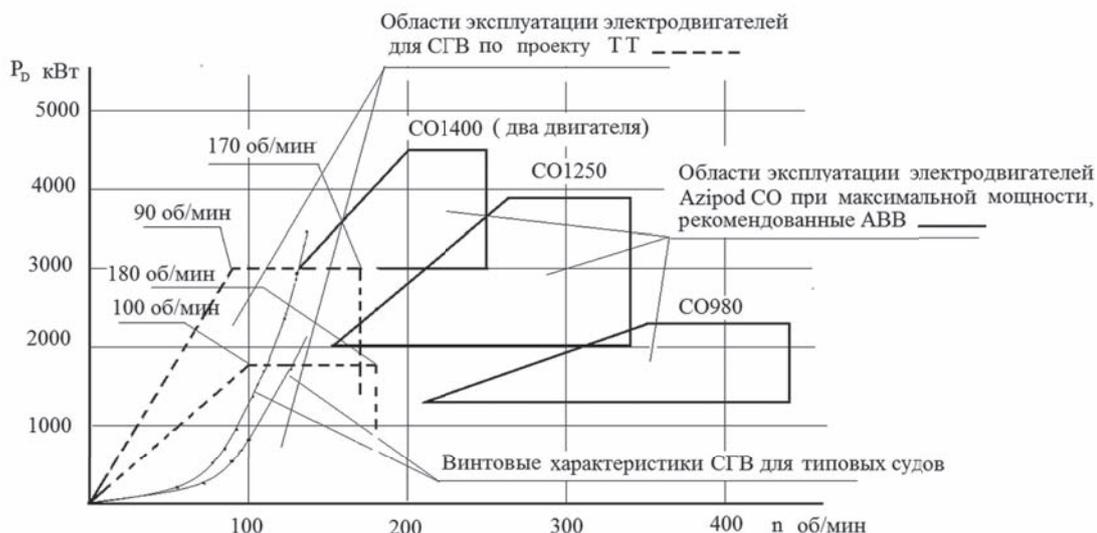


Рис. 6. Области эксплуатации гребных электродвигателей в виде зависимостей $P_D = f(n)$
 P_D – мощность, потребляемая гребными винтами, кВт; n – частота их вращения, об/мин

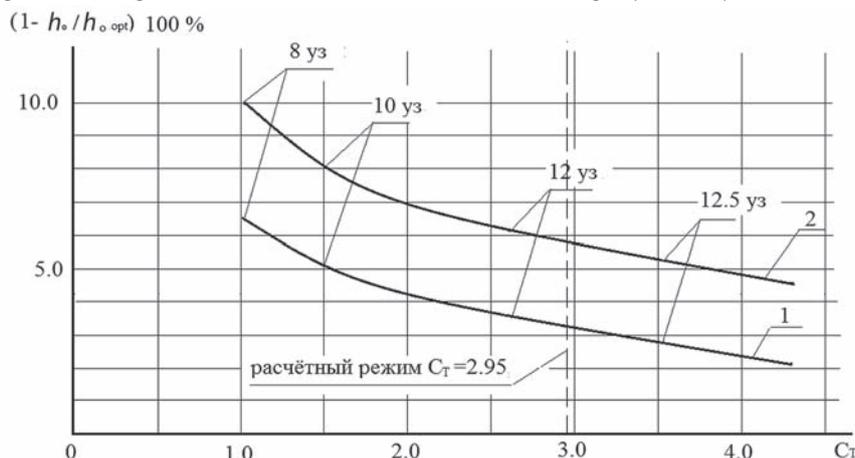


Рис. 7. Уменьшение КПД $(1-h_0/h_{0opt})$ 100%, типового рыболовного судна при проектировании СГВ на завышенную частоту вращения

h_{0opt} – КПД СГВ при их проектировании на оптимальную частоту вращения ($n = 135$ об/мин, шаговое отношение $P/D = 1,35$); h_0 – КПД СГВ при их проектировании на оптимальную частоту вращения $n = 180$ об/мин (кривая 1, $P/D = 0,89$) и $n = 200$ об/мин (кривая 2, $P/D = 0,81$)

Технические требования к электрической передаче мощности на СГВ двигателей мощностью 1800 и 3000 кВт с СГВ

Мощность, кВт	Момент Q_z , кНм	Упор T_z , кН	Частота вращения n , об/мин	Диаметр СГВ D , м	Диаметр гондолы D_g , м
1800	До 180	До 320	100 – 180	2,8–3,1	≤ 1,54
3000	До 370	До 520	90 – 170	3,4–3,7	≤ 1,87

шие потери гидродинамической эффективности наблюдаются на скоростях судна, меньших проектной. Отсюда следует, что техническая возможность установления оптимальной частоты вращения СГВ – важное условие для их внедрения в составе пропульсивных установок. Уменьшение гидродинамической эффективности даже на 3% вследствие неоптимальности частоты вращения уже может поставить под вопрос о целесообразности применения СГВ, так как в этом случае использование более простых гидродинамических устройств обеспечивает сопоставимый уровень энергосбережения [17,18].

Таким образом, создание электрической передачи мощности для ДРК с СГВ требует строго выполнения условий необходимой частоты вращения СГВ и, соответственно, валов приводных электродвигателей (см.рис. 6). Дополнительную сложность в работу привносит необходимость ограничения диаметров приводных электродвигателей с тем, чтобы минимизировать диаметр гондолы ДРК и обеспечить, как было отмечено, $D_g/D \leq 0,55$.

Для пропульсивной установки с приводными электродвигателями в корпусе судна требование к величине их диаметров не столь критично, однако и в этом случае следует минимизировать диаметры электродвигателей для их рациональной компоновки в корпусе, например, для максимально возможного смещения электродвигателей в корму судна, что приведет к уменьшению длины валов СГВ и протяженности машинного отделения. Следствием такой компоновки будет уменьшение технологической сложности конструкции вал в валу для СГВ и увеличение полезных объемов судна.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СГВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ МОЩНОСТИ

Существенным для гидродинамической эффективности СГВ является создание на их базе пропульсивных систем с электрической передачей мощности на гребные винты с независимым управлением частотой вращения каждого из них. Это расширяет область их гидродинамической эффективности при изменении сопротивления, обусловленного условиями эксплуатации (что важно для рыболовных судов при их работе с тралом), и режимы работы двигателя, близкие к швартовным [19].

В настоящей работе не рассматривался вопрос о ТТ к электрической передаче мощности на режиме реверса СГВ. Гидродинамика СГВ на данном режиме требует тщательного исследования для формулирования соответствующих ТТ к электрической передаче мощности. Несмотря на то, что в настоящее время надежных данных (полученных как в рамках модельного эксперимента, так и в практике эксплуатации судов) о режиме реверса СГВ нет, можно надеяться, что это не будет серьезным препятствием для их внедрения в отечественном судостроении. Дополнительные возможности достижения приемлемых характеристик на режиме реверса СГВ (как и улучшение их кавитационных характеристик) даст применение винтов изменяемого шага (ВИШ) [20].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, как показал анализ технических требований к электрической передаче мощности 1800 и 3000 кВт на СГВ, в задании на проектирование соответствующих двигателей должны быть включены параметры, представленные в табл. 4.

Разработка и внедрение новой морской техники требует тщательного анализа как области ее будущего применения, так и технических характеристик, от которых зависит преимущество по сравнению с существующими образцами. Выполнение указанных технических требований к электрической передаче мощности на СГВ необходимо для обеспечения существенного превосходства двигателей с СГВ над аналогами по гидродинамической эффективности (на 10–12%) [12, 13]. Конкретные значения гидродинамической эффективности могут быть указаны только после проработки определенного проекта судна, оснащенного СГВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. IMO Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2–Ship Energy Efficiency Regulation and Related Guideline/ИМО, London, January 2016.
2. Пустошный А. В. Проблемы ходкости транспортных судов. – СПб.: Изд. ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2016.
3. Правила классификации и постройки морских судов/Российский морской регистр судоходства, 2015, т. 3.
4. *Mitsun R. B.* Underwater Noise of Research Vessels.//Review and Recommendations Cooperative Research. – Report 1995. – № 209, ICES,
5. *Тогуняц А. Р., Анчиков С. Л., Вишневецкий Л. И.* Соосные гребные винты в зарубежном и отечественном судостроении//Морской вестник. – 2019. – № 4 (72). – С. 44–49.
6. The Super Eco-Ship. Class NK//Magazine. – 57th ed. – ta-platform-supply-vessel/
7. <http://www.ship-technology.com/projects/mv-juanita-platform-supply-vessel/>
8. <http://scanapropulsion.com/discover/juanita-platform-supply/>
9. Справочник по теории корабля/Под ред. Я. И. Войткунского. – Т. 1. – Л.: Судостроение, 1985. – 605 с.
10. Флот рыбной промышленности: Справ. типовых судов. – М.: Транспорт, 1990.
11. Propulsion. Moving your business in the right direction/Rolls-Royce Commercial Marine, 2014.
12. *Тогуняц А. Р., Анчиков С. Л., Вишневецкий Л. И.* Перспективы применения пропульсивных установок с электрической передачей мощности на соосные гребные винты//Морской вестник. – 2020. – № 1 (73). – С. 66–69.
13. *Воеводская Е. Н., Турбал В. К.* Перспективы повышения ходовых качеств быстроходных транспортных судов. – Вопросы судостроения. – Сер.: Проектирование судов. – СПб.: Изд. ЦНИИ «Румб», 1977. – Вып. 15.
14. Azipod® CO Product Introduction.
15. *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.
16. Разработка программы прогноза ходовых качеств морских транспортных и рыбопромысловых судов. – Л.: Изд-во АН СССР. Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова, 1990.
17. 27th ITTC Propulsion Committee Report Presentation (2011–2014).
18. *Вишневецкий Л. И., Тогуняц А. Р.* Корабельные лопастные двигатели. Новые технические решения, результаты исследований. – СПб.: Судостроение, 2011.
19. *Тогуняц А. Р., Вишневецкий Л. И.* Гидродинамические аспекты работы гребных винтов противоположного вращения с электрической передачей мощности//Морской вестник. – 2018. – № 3 (67). – С. 83–86.
20. *Vishnevsky L. I., Togunjac A. R.* Comparative Evaluation of Reverse Characteristics of a Ship Equipped with Propeller of Variable Pitch. – Book of Proceedings of the 24th Symposium on Theory and Practice of Shipbuilding, Sorta-2020, Croatia. p. 175–184. ■

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на большинство надводных кораблей устанавливаются системы компенсации корабельных магнитных полей, серийные поставки которых осуществляют несколько предприятий, включая АО «НПФ «Меридиан». В любой подобной системе очень важной задачей является обеспечение необходимой мощности и возможность наращивания выходной мощности посредством параллельного соединения преобразователей тока с обмоткой размагничивания. На данный момент, используя 50-летний опыт разработки систем компенсации магнитных полей, АО «НПФ «Меридиан» успешно решает проблемы, возникающие на пути создания мощной преобразовательной техники, одной из которых стала реализация возможности параллельного соединения преобразовательных устройств. Поиск решения задачи параллельного включения нескольких источников питания постоянного тока на общую нагрузку имеет ряд побудительных причин.

Во-первых, параллельная работа отдельных источников позволяет наращивать общую выходную мощность преобразователей без дополнительных затрат на разработку новых приборов, а также повышать надежность за счет «глубины» резервирования отдельных преобразователей.

Во-вторых, использование набора однотипных источников питания как отдельно, так и в различных комбинациях, позволяет осуществлять аппаратную унификацию типоряда преобразователей.

В-третьих, решение задачи параллельной работы позволяет распределить тепловыделение силовой части преобразователя по всему объему корпуса прибора.

Подобные возможности делают задачу обеспечения параллельной работы источников питания чрезвычайно актуальной, поскольку другого способа ее решения зачастую просто нет.

По вышеуказанным причинам технические возможности преобразователей становятся существенными и важными для параллельной работы, особенно при использовании их в системах электропитания. Следует отметить, что параллельную работу преобразователей постоянного тока организовать значительно проще, чем переменного тока, поскольку ее обеспечение связано с регулированием лишь одного (реже двух) параметров среднего значения выходного напряжения (при необходимости – выходного тока). Специалисты АО «НПФ

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СИСТЕМАМ КОМПЕНСАЦИИ КОРАБЕЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В.В. Фогель, инженер 2-й категории,

В.Ю. Селякова, инженер,

В.Н. Грачёв, начальник отдела,

АО «НПФ «Меридиан»,

контакт. тел. (812) 602 0375, доб. 529, 526, 101

«Меридиан» в рамках данной тематики работают над внедрением параллельного включения преобразовательных систем компенсации корабельных магнитных полей.

В общем случае можно выделить следующие виды параллельной работы:

а) на общую нагрузку с произвольным распределением мощности нагрузки между отдельными преобразователями, но с ограничением загрузки каждого из них на уровне номинальной мощности;

б) на общую нагрузку с распределением мощности пропорционально номинальной мощности каждого преобразователя. При одинаковых мощностях преобразователей распределение нагрузки между ними будет равномерным (симметричный режим).

Тем не менее на вопрос, можно ли использовать источники питания в параллельной конфигурации без каких-либо изменений, ответ чаще всего будет отрицательным. Это свя-

зано с неизбежным разбросом выходного напряжения у источников, объединяемых в кластер. Регулируемые преобразователи имеют обычно высокую точность стабилизации выходного напряжения и, следовательно, малый статизм внешних характеристик. В связи с этим источник с наибольшим выходным напряжением (наименьшим внутренним сопротивлением) примет на себя всю токовую нагрузку кластера и выйдет в режим ограничения по току или выйдет из строя. Затем всю нагрузку примет следующий источник с наибольшим выходным напряжением, и точно так же отключится. Это быстро приведет к обрушению всего кластера.

Но все сказанное относится к источникам напряжения. Если рассматривать параллельное соединение источников тока, то возникает принципиально иная ситуация.

Расчетная часть. Рассмотрим схему параллельного соединения эквивалентных источников тока (рис. 1).

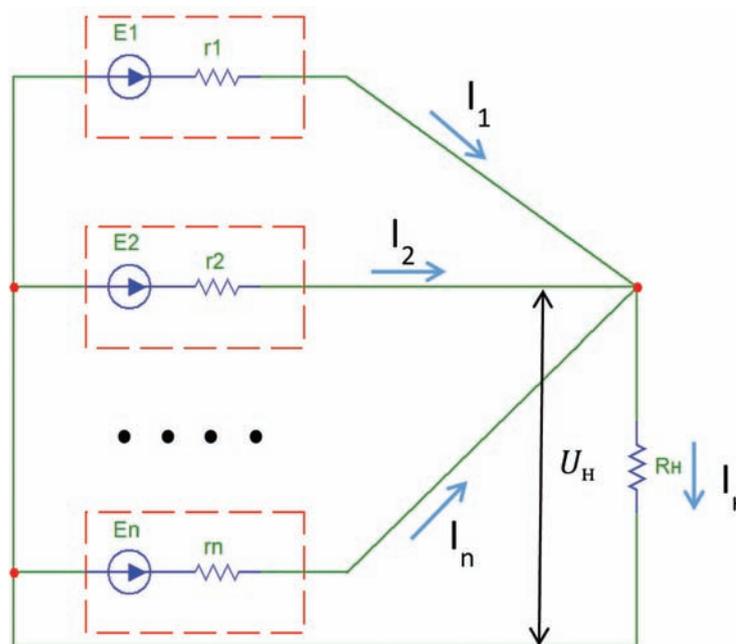


Рис. 1. Модель параллельного включения источников тока

Совместная работа источников тока определяется следующими характеристиками источников:

– внешними:

$$U_n = E_n - I_n r_n, \quad (1)$$

где U_n – напряжение на выходе источника; E_n – ЭДС источника; I_n – ток на выходе источника; r_n – внутреннее сопротивление источника;

– нагрузочной характеристикой цепи:

$$U_n = R_n I_n = R_n (I_1 + I_2 + \dots + I_n), \quad (2)$$

где U_n – падение напряжения на нагрузке; R_n – сопротивление нагрузки; I_n – ток в нагрузке.

Очевидно, что в статическом режиме напряжения на выходе источников должны быть равны падению напряжения на нагрузке. В противном случае возникнут токи перетекания между источниками:

$$U_1 = U_2 = \dots = U_N = R_n I_n. \quad (3)$$

С учетом выполнения этого условия точка совместной работы источников будет определяться решением следующей системы уравнений:

$$E_n = I_n (r_n + R_n) + R_n \sum_{i \neq n} I_i, \quad n = 1, \dots, N \quad (4)$$

или в матричном виде

$$\bar{R} \times \bar{I} = \bar{E},$$

где

$$\bar{R} = \begin{vmatrix} r_1 + R_n & R_n & \dots & R_n \\ R_n & r_2 + R_n & \dots & R_n \\ R_n & \dots & r_n + R_n & R_n \\ R_n & R_n & \dots & r_N + R_n \end{vmatrix} -$$

матрица сопротивлений размерности $N \times N$;

$\bar{I} = (I_1 + I_2 \dots I_N)^T$ – вектор-столбец токов размерности N в виде транспонированной матрицы;

$\bar{E} = (E_1 + E_2 \dots E_N)^T$ – вектор-столбец ЭДС размерности N в виде транспонированной матрицы.

Таким образом, для любого заданного вектора токов существует такой вектор ЭДС источников, при котором выполняется условие совместной работы (3). Возникает вопрос, а можно ли обеспечить необходимые значения компонентов вектора ЭДС с помощью автономных регуляторов тока, реализующих функцию регулирования $I_n = \text{const}$ независимо для каждого источника? Для ответа на этот вопрос изменим значение тока первого источника на величину ΔI за счет уменьшения его ЭДС:

$$\hat{I}_1 = I_1 - \Delta I;$$

$$\hat{E}_1 = E_1 - (R_n + r_1)\Delta I.$$

В этом случае уравнение (4) для первого источника примет вид

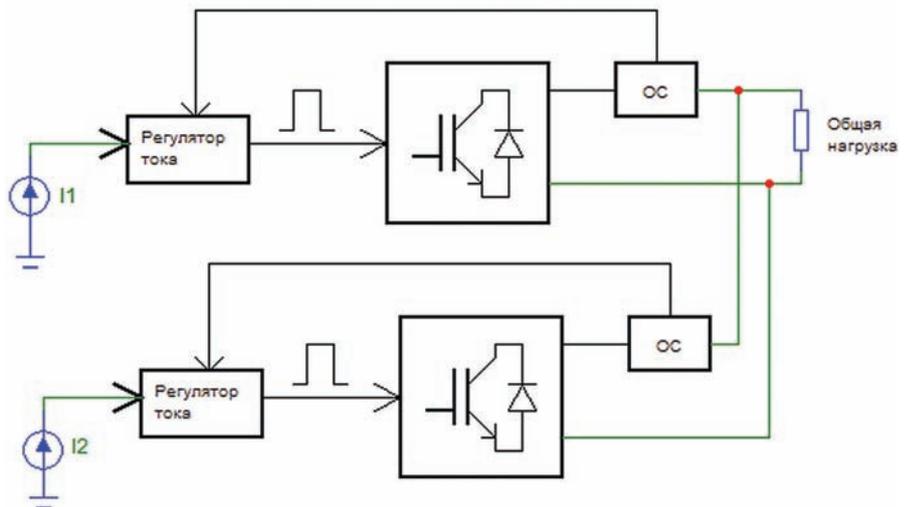


Рис. 2. Схема прямого соединения преобразователей

$$\hat{E}_1 = \hat{I}_1 (R_n + r_1) + R_n \sum I_i, \quad i = 1, \dots, N.$$

Для остальных источников с учетом изменения тока I_1 уравнение (4) можно записать в следующем виде:

$$\hat{E}_n = I_n (R_n + r_n) + R_n (\sum I_i - \Delta I_1), \quad i = 1, \dots, N.$$

Очевидно, что уменьшение падения напряжения на нагрузке при сохранении ЭДС источника вызовет рост тока I_n . Чтобы компенсировать этот рост, регуляторы уменьшат значения ЭДС остальных источников на одну и ту же величину:

$$\hat{E}_n = E_n - R_n \Delta I_1, \quad n = 1, \dots, N.$$

Таким образом, система уравнений (4) сохраняет свою эквивалентность, и, следовательно, обеспечивается условие совместной работы источников (3).

Моделирование режима параллельной работы. Для анализа статических и динамических характеристик параллельной работы источников тока воспользуемся физической моделью статического преобразователя тока.

Прямое соединение выходов преобразователей. Наиболее простым и технологичным способом параллельного включения преобразователей является коммутация их выходов непосредственно на нагрузку (рис. 2). При этом регуляторы каждого преобразователя контролируют только собственный выходной ток.

Проведем анализ переходных процессов для выходных токов каждого преобразователя и тока в нагрузке в двух режимах: в симметричном режиме и в режиме разброса мощностей.

Для симметричного режима примем, что значения заданных токов и параметров измерительных каналов преобразователей идентичны. В этом режиме мгновенная суммарная мощ-

ность, передаваемая в нагрузку, делится равномерно между преобразователями. Этот режим является идеальным, поэтому его характеристики будем рассматривать в качестве эталонных.

В действительности параметрические отличия преобразователей приводят к тому, что мощность между ними делится не равномерно, а с некоторой погрешностью. Поскольку модели преобразователей, которые используются в параллельном включении одинаковы, то режим разброса мощностей будем моделировать за счет разности значений заданных токов.

Симметричный режим. В симметричном режиме на входы регуляторов подадим равные значения заданных токов $I_1 = I_2 = 2$ А. В результате получим следующие результаты – см. рис. 3.

В симметричном режиме значения выходных токов ячеек были заданы одинаковыми $I_1 = I_2 = 2$ А.

Как видно из полученных результатов, значения парциальных токов I_1 и I_2 совпадают, а мгновенный ток в нагрузке является их алгебраической суммой, что соответствует ожидаемому результату. Назвать неожиданным такой результат нельзя. Как уже отмечалось, симметричный режим требует не только равенства заданных токов, но и абсолютной идентичности параметров преобразователей, что на практике недостижимо.

Режим разброса мощностей. Для моделирования режима разброса мощностей изменим заданные токи таким образом, чтобы суммарный ток в нагрузке оставался прежним. Примем заданное значение тока для первого преобразователя $I_1 = 5$ А, а для второго $I_2 = 2$ А. В результате моделирования получим результирующий ток 7 А (рис. 4).

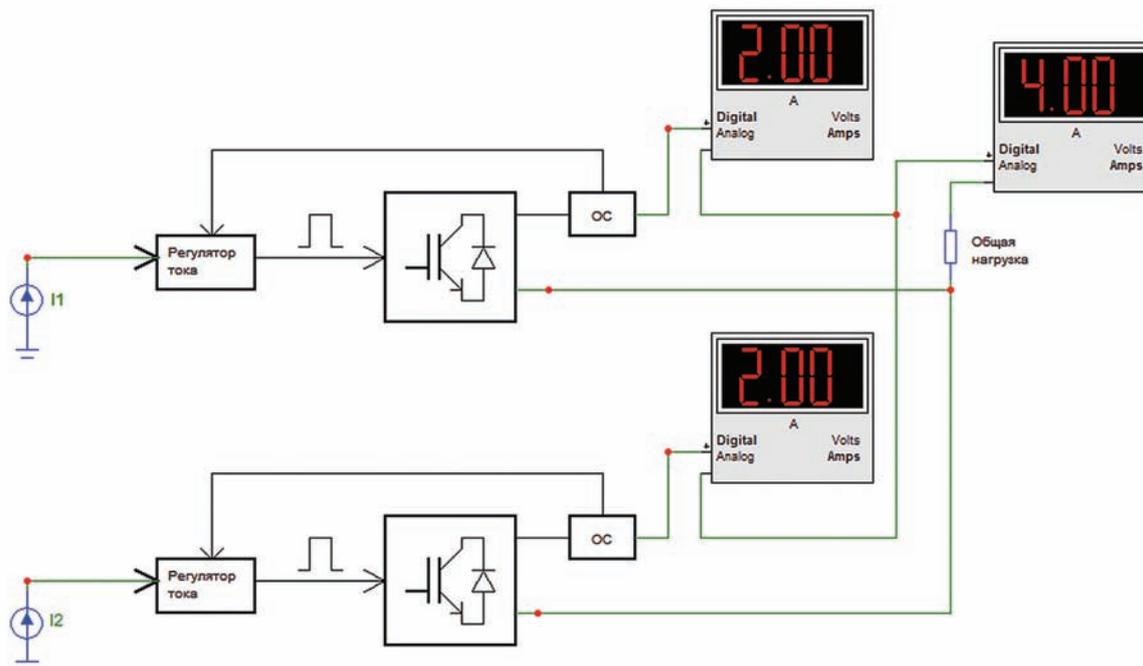


Рис. 3. Визуализация результатов симметричного режима

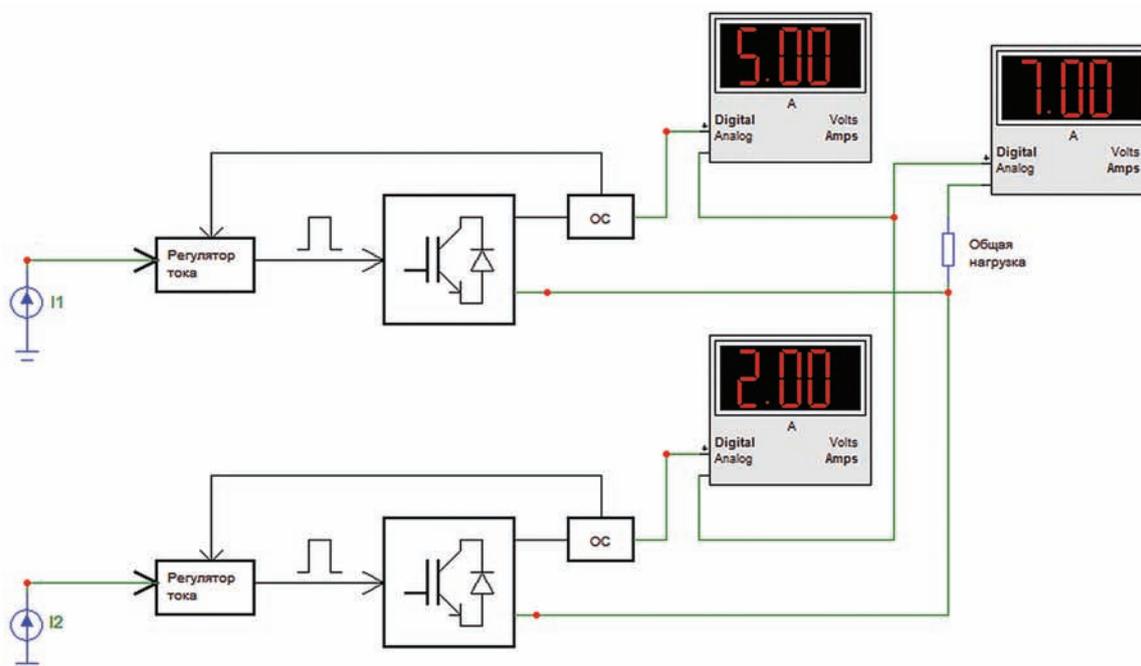


Рис. 4. Визуализация результатов режима разброса мощностей

Такой способ реализации параллельной работы наиболее перспективен, так как он не связан с введением дополнительных обратных связей и не накладывает каких-либо схемных и структурных ограничений на модульное агрегатирование системы.

Интересно, что результаты моделирования режима разброса мощности никак не противоречат условиям параллельной работы источников тока, полученным ранее. То есть этот режим, в принципе, тоже обеспечивает корректное суммирование токов преобразователей.

Вывод: реализация параллельного включения преобразователей вполне реалистична, и в настоящее АО «НПФ «Меридиан» проработано возможность параллельного включения до шести преобразователей мощностью по 2 кВт каждый в общую нагрузку. ■

Актуальной проблемой при освоении Мирового океана, в том числе в ходе разведки, разработки и добычи полезных ископаемых шельфовых месторождений Арктического региона, является энергообеспечение подводной и подледной деятельности. В настоящее время надводные суда и морские технические средства имеют в своем составе судовые энергетические установки следующих типов: ядерные, используемые на атомных ледоколах, обслуживающих Северный морской путь, и неатомные, представленные в широком классе дизельных и газотурбинных установок, которые используются на судах для перевозки сжиженного природного газа (СПГ), контейнеровозах, сухогрузах и прочих надводных судах. При освоении шельфа в Арктическом регионе возникает необходимость проведения разведывательных и добычных работ под водой решаются следующие задачи:

- геологоразведка;
- разработка газовых и нефтяных месторождений;
- строительство подводных комплексов добычной инфраструктуры в местах газовых и нефтяных месторождений;
- поиск и добыча конкреций полезных ископаемых;
- обслуживание объектов донной инфраструктуры;
- прокладка и обслуживание донных кабелей и путепроводов.

Для решения этих задач в регионах со сплошным ледовым покровом требуется использование подводных технических средств, которые должны обладать высокой автономностью, а также робототехнических средств, оснащенных энергетическими установками, которые должны иметь:

- высокую автономность подводной работы (время эксплуатации технического средства под водой без всплытия);
- экологичность;
- безопасность и простоту при обслуживании;
- невысокую стоимость создания, эксплуатации и плановых ремонтно-восстановительных работ установки;
- малые габариты с учетом всех обслуживаемых ее систем;
- простую схему утилизации.

Кроме того, береговая инфраструктура обеспечения подводного технического средства должна быть максимально простой.

Сравним существующие энергетические установки, которые могут быть применены в составе рассматриваемых подводных технических средств, с учетом изложенных требований.

Так, ядерные энергетические установки (ЯЭУ) – безусловные лидеры по

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУХОНЕЗАВИСИМОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ГАЗОТУРБИНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

*П. С. Андреев, инженер-конструктор 1-й категории,
АО «СПМБМ «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 1501*

автономности. Время автономной работы подводного технического средства с ЯЭУ в сравнении с неатомными установками ограничивается только количеством запасов жизнеобеспечения личного состава (провизия, вода, кислород), эксплуатирующего подводное средство. Такое средство с ЯЭУ может обеспечить автономную работу и обслуживание донной морской инфраструктуры без длительного всплытия.

Российская Федерация имеет большой опыт создания и эксплуатации ЯЭУ, в том числе в судостроении, и на сегодняшний день является единственным государством, гражданский флот которого обладает судами с ЯЭУ. Однако стоимость постройки, сложности эксплуатации и содержания судов с ЯЭУ, высокие требования к их экологической безопасности и необходимость наличия развитой береговой инфраструктуры сильно превышают стоимость постройки и эксплуатации судов с неатомной энергетикой. Таким образом, применение первых с целью разведки и разработки шельфовых месторождений сопряжено с необходимостью решения этих непростых задач и зачастую экономически нецелесообразно.

Неатомные энергетические установки, такие как дизельные судовые и газотурбинные, в сравнении с ЯЭУ дешевле и более просты в эксплуатации, однако для их работы необходимо сообщение с атмосферным воздухом, что не позволяет обеспечить их работу под водой. При этом их можно использовать для зарядки аккумуляторных батарей, которыми оснащают технические средства, работающие под водой. Данная схема частично может быть применена для решения поставленных задач.

При данной схеме эксплуатации подводного средства время работы под водой ограничено емкостью аккумуляторных батарей и мощностью, потребляемой устройствами из состава подводного средства. Такая схема целесообразна при проведении работ в регионах, в которых возможно всплытие подводного средства для подзарядки аккумуляторных батарей, но не может быть реализована для

работы под сплошными ледовыми покровами.

Для решения поставленных необходимых альтернативный вариант энергетической установки, которая должна обеспечить длительную работу без всплытия, при этом быть простой в эксплуатации и обладать высокой надежностью и безопасностью, не требовать наличия сложной береговой инфраструктуры.

Таким вариантом могут стать воздухонезависимые энергетические установки (ВНЭУ) – тип неатомных энергетических установок, которые для работы не требуют сообщения с атмосферным воздухом, а именно: аэробные, т.е. использующие кислород в качестве окислителя, и анаэробные, не использующие кислород в ходе рабочего процесса. Основное назначение ВНЭУ – выработка электроэнергии для электропитания всех потребителей подводного средства и обеспечения электродвижения, маневрирования и погружения, всплытия подводного технического средства.

Анаэробные ВНЭУ представлены в виде групп аккумуляторных батарей, обеспечивающих длительную работу под водой, а также различных установок реформинга углеводородов с последующим преобразованием тепловой энергии в электрическую (электрохимические генераторы) и установок с двигателем с внешним подводом теплоты (ДВПТ Стирлинга).

Каждая из установок имеет ряд особенностей и преимуществ, однако главные недостатки, присущие почти всем типам ВНЭУ, являются их относительно низкая мощность и невысокий КПД.

Аэробные ВНЭУ, обладая преимуществами ДГУ и ТГУ, могут эксплуатироваться при длительном нахождении технического средства под водой, и время их эксплуатации ограничивается либо количеством топливных и окислительных запасов, либо ресурсными показателями установок. ВНЭУ могут попеременно использоваться совместно с аккумуляторными батареями и эксплуатировать-

ся как в надводном, так и подводном положении.

Разработкой одного из вариантов ВНЭУ занимаются в АО «СПМБМ «Малахит» (рис. 1). Данная ВНЭУ с ГТД ЗЦ – это единая газотурбинная энергетическая установка (ЕГТУ), используемая как в надводном, так и в подводном положении с выработкой электроэнергии для электропитания всех потребителей подводного средства и средств движения, маневрирования, погружения, всплытия.

ВНЭУ с ГТД ЗЦ представляет собой ГТУ, газоразборную и приемную коллекторы которого сообщены в единый замкнутый контур, снабженный системой отбора части продуктов сгорания и системой подмешивания кислорода. Для замкнутого контура отработавшие газы, покидая выпускной патрубок ГТД, поступают в специальный фильтр-охладитель, который конструктивно обеспечивает их охлаждение, а также выполняет функцию уловителя твердых несгораемых частиц и конденсации излишней влаги. По межтрубному пространству фильтра-охладителя проходят отработавшие газы, а через трубное пространство поступает забортная охлаждающая вода. За фильтром-охладителем проводится отбор части продуктов сгорания системой утилизации. За участком отбора части продуктов сгорания отработавшие газы поступают в специальный ресивер – замкнутый объем, в который подмешивается кислород до необходимой концентрации, обеспечивающей сгорание топлива в ГТД. Отработавшие газы с подмешанным кислородом называются искусственной газовой смесью (ИГС). Далее ИГС из ресивера поступает на впускной участок перед ГТД. На этом участке применена арматура, переключки которой позволяет переводить работу ВНЭУ с замкнутого контура на открытый, и обратно.

Таким образом, при замкнутом контуре ВНЭУ может эксплуатироваться под водой, а при разомкнутом контуре установка сообщается с атмосферным воздухом, и продукты сгорания выпускаются через систему газоотвода за борт технического средства. Оба режима работы ВНЭУ с ГТД ЗЦ в совокупности определяют установку как ЕГТУ (рис. 2).

Система утилизации продуктов сгорания происходит следующим образом: из участка отбора части отработавших продуктов сгорания последние поступают в компрессор для их сжатия и последующего охлаждения водяным теплообменным аппаратом. За участком охлаждения отработавшие газы поступают на участок осушения (адсорбции), в котором удаля-

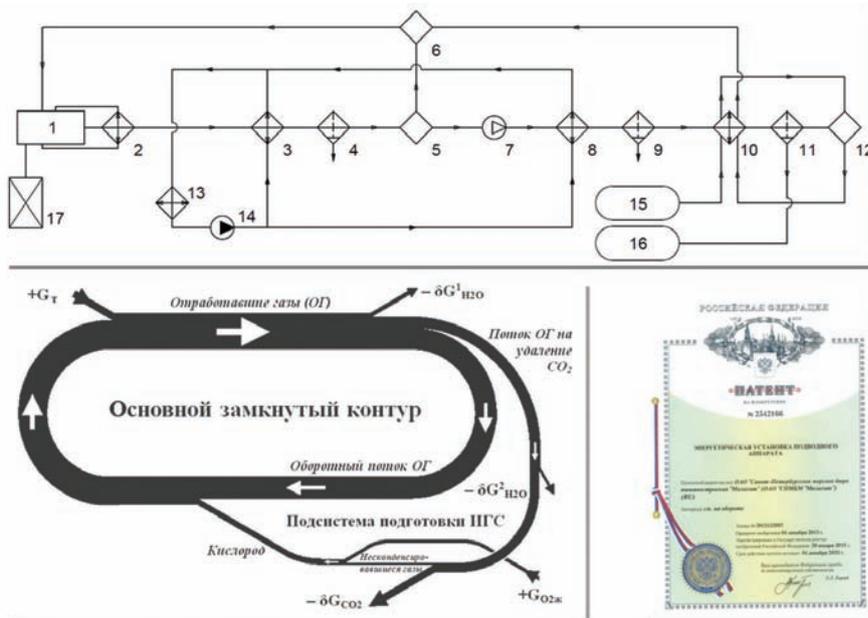


Рис. 1. ВНЭУ с газотурбинным двигателем, работающим по замкнутому циклу

1 – ГТД, 2 – регенератор тепла ОГ, 3 – охладитель ОГ, 4 – влагоотделитель, 5 – клапан управления рециркуляцией, 6 – смеситель-ресивер, 7 – компрессор, 8 – охладитель ОГ повышенного давления, 9 – влагоотделитель-адсорбер, 10 – конденсатор жидкого CO₂, 11 – сепаратор жидкого CO₂, 12 – смеситель холодных потоков, 13 – теплообменник системы охлаждения, 14 – насос системы охлаждения, 15 – емкость жидкого O₂, 16 – емкость жидкого CO₂, 17 – емкость горячего

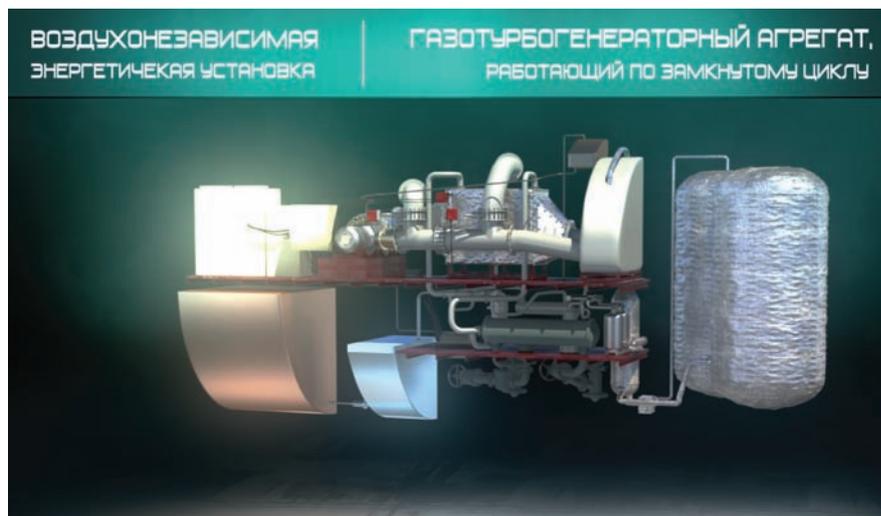


Рис. 2. Общий вид ЕГТЭУ

ется остаточная влага и улавливаются летучие твердые частицы. Далее при определенных параметрах углекислый газ поступает на участок сжижения, который представлен в виде двухфазного охладителя, по межтрубному пространству которого протекает и сжижается CO₂, а по внутритрубному пространству поступает O₂ из специальных емкостей. Сжиженный CO₂ из теплообменного аппарата поступает на участок распределения, из которого распределяется отведенные для хранения криогенные объемы, в то время как используемый для сжижения O₂ поступает в ресивер, в котором происходит его подмешивание к отработавшим газам для получения ИГС. Таким

образом горячий замкнутый цикл и холодный замыкаются.

Кислород хранится в жидком виде в специальных теплоизолированных сосудах при атмосферном давлении, а объем его запасов зависит от проектной мощности ЕГТУ и времени автономной работы в замкнутом цикле. Осушенные объемы O₂ замещаются жидким CO₂ от системы утилизации ИГС. Данное конструктивное решение исключает выбросы продуктов сгорания в окружающую среду, чем обеспечивается экологичность установки в процессе ее работы в замкнутом цикле.

Предлагаемый вариант ЕГТУ может быть представлен в виде двух ГТД ЗЦ, которые могут работать как одно-



Рис. 3. Внешний вид экспериментального стенда с горячим замкнутым контуром

временно, с выработкой электроэнергии потребной мощности, так и попеременно, в зависимости от требуемого режима эксплуатации в конкретный момент времени и его назначения. Так обеспечивается гибкость работы ЕГТУ с высокой вариативностью ее применения.

По сравнению с существующими типами ВНЭУ, такими как электрохимические генераторы (ЭХГ), ДВПТ Стирлинга и аккумуляторными батареями, ЕГТУ имеет следующие преимущества:

1. Испарение жидкого кислорода может использоваться в системе кондиционирования воздуха подводного технического средства. При этом бездренажное хранение жидкого кислорода может быть обеспечено продолжительное время – более 30 суток.

2. Многотопливность – ГТД может работать на тяжелых сортах дизельных топлив. Возможен вариант работы ЕГТУ на природном газе.

3. Гибкость эксплуатации – возможна работа ЕГТУ на подзаряд аккумуляторных батарей, под водой в широком диапазоне мощностей, а также в над-

водном положении при израсходовании жидкого кислорода («открытый» цикл).

4. Экологичность установки – продукты сгорания не выбрасываются в окружающую среду и по окончании навигации выгружаются в базовые емкости.

5. Малое время приготовления к действию и время запуска такое же, что и время запуска ДГУ и ТГУ, а также простота эксплуатации (номенклатура и состав систем практически аналогичны таковым для ДГУ и ТГУ без учета системы утилизации сжижения CO_2).

6. Невысокие затраты на жизненный цикл, поскольку нет необходимости применять дорогостоящие конструкционные и расходные материалы; высокие ресурсные показатели ЕГТЭУ.

В настоящее время работа над ВНЭУ с ГТД ЗЦ ведется на производственной базе АО «СПМБМ «Малахит», где создан экспериментальный стенд ВНЭУ с ГТД ЗЦ «Турбогаз» в виде установки с горячим замкнутым контуром (рис. 3).

В 2016 г. был осуществлен первый запуск установки по замкнутому циклу.

Экспериментальные пуски показали ее работоспособность установки и целесообразность дальнейших работ по ее дооснащению. В настоящий момент ведется комплекс исследовательских работ, а также конструкторских изысканий в рамках создания второй очереди стенда – системы сжижения и утилизации ИГС. Данная работа проводится АО «СПМБМ «Малахит» в инициативном порядке.

ЕГТУ (ВНЭУ с ГТД ЗЦ), благодаря своим преимуществам, может рассматриваться в качестве энергетической установки для технических средств, предназначенных для проведения подводных работ, связанных с освоением шельфовых месторождений Арктического региона в условиях сплошных ледовых покровов, а именно: для поиска, разработки и обслуживания месторождений полезных ископаемых. Данная установка, как и ЯЭУ, позволяет техническому средству работать под водой, и, как неатомная энергетическая установка, относительно простота в эксплуатации и имеет соизмеримую с ней стоимость. ■

В статье «Идеологические предпосылки перехода от расчетов прочности к прогнозированию долговечности судовых машин и механизмов», опубликованной в данном журнале, затронута проблема работоспособности деталей с трещинами. Актуальность этой проблемы объясняется тем, что типичными повреждениями подавляющего большинства машиностроительных деталей являются трещины. Причиной их появления могут быть усталость материала в результате действия повышенных циклически изменяющихся нагрузок, а также дефекты, связанные с нарушением технологии изготовления деталей, например, в процессе термической обработки. Естественно, наличие трещины вызывает беспокойство по поводу работоспособности детали, поскольку существует вероятность ее поломки с тяжелыми последствиями для машины в целом. В то же время трещина не всегда приводит к усталостному разрушению материала и до определенных размеров лишь незначительно снижает работоспособность детали. Критерием возможности ее дальнейшей эксплуатации с трещиной без каких-либо ремонтно-восстановительных работ служит остаточный ресурс. Эксплуатация считается безопасной, если остаточный ресурс составляет не менее 0,5–0,6 от долговечности новой детали [5].

Вместе с тем расчетная оценка остаточного ресурса деталей с трещинами не относится к простой задаче механики разрушения конструкционных материалов. Трудности обусловлены уже неопределенностью самого понятия. По нашему мнению, остаточная долговечность – это выраженная в часах продолжительность работы детали с видимой трещиной до предельного состояния. В дальнейшем под предельным состоянием будем понимать такие размеры трещины, после которых идет неуправляемый ее рост вплоть до полной поломки детали.

По поводу предельного состояния существуют и другие мнения. Их отличают принципиальные разногласия. Так, одни авторы предельным состоянием считают полное разрушение детали, ссылаясь на кривую усталости Велера. В этом случае возникает очевидная проблема установления границы между поломкой и безопасной долговечностью с учетом реальных условий эксплуатации и неизбежных при этом случайных отклонений как действующей нагрузки, так и прочностных свойств материала. Другие авторы под предельным состоянием понимают появление первых макроскопических усталостных трещин глубиной 0,2–0,5 мм. Однако практическая реализация этого предложения наталкивается на трудности дефектоскопии, при которой велика вероятность необнаружения таких трещин. Между тем испытания стандартных образцов показывают, что подобные трещины возникают уже после 20 – 30% общего числа циклов до разрушения [1]. Отсюда следует вывод: деталь, имеющая макроскопические трещины, располагает относительно большой остаточной долговечностью и может еще длительное время безопасно эксплуатироваться. Существует также мнение о недопустимости эксплуатации деталей с трещинами вообще. Категоричность данного утверждения противоречит физическому процессу усталости материала. По имеющимся сведениям, усталостные трещины не возникают при рабочих напряжениях в 4–5 раз меньше предела выносливости [2]. Уменьшить рабочие напряжения до таких значений можно только за счет значительного увеличения размеров детали, что не всегда разумно.

Методические положения расчета остаточной долговечности деталей с трещинами изложены в упомянутой статье. Не пытаясь их повторить, отметим здесь только особенности этой методики. Во-первых, расчетная оценка долговечности

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ С ТРЕЩИНАМИ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

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

детали с трещиной базируется на линейной механике разрушения, согласно которой разрушение материала происходит в результате роста трещины. При этом она как концентратор напряжений создает собственное поле напряжений, в котором напряжения обычно превышают предел текучести материала и, таким образом, обуславливают локальную пластическую зону у острия трещины (рис. 1). О напряженном состоянии в окрестностях вершины трещины судят по величине коэффициента интенсивности напряжений. По существу этот коэффициент связывает напряжения от внешней нагрузки, подсчитанные без учета трещины, со схемой нагружения и размерами трещины.

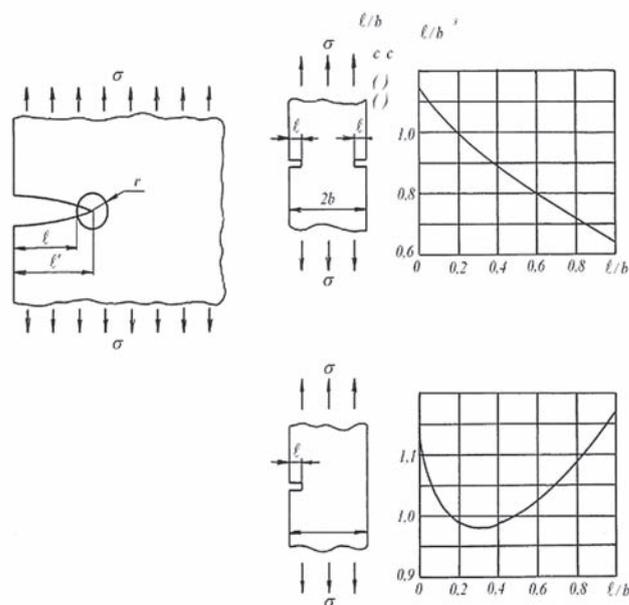


Рис. 1. Пластическая зона у вершины трещины

Во-вторых, по величине коэффициента интенсивности напряжений K судят о степени опасности трещины. Если $K < K_h$, то трещина не растет или растет очень медленно, соответственно опасности разрушения детали нет. Напротив, условие $K > K_c$ эквивалентно неуправляемому росту трещины и разрушению детали. Здесь K_h и K_c – значения порогового и критического коэффициента интенсивности напряжений [3].

Далее, поскольку значение коэффициента интенсивности напряжений зависит от размеров трещины, то по его величине можно определить критическую длину трещины l_c . Понятно, что она является последним рубежом, после которого начинается самопроизвольное развитие трещины и наступает момент разрушения детали.

В-третьих, корректность определения остаточной долговечности зависит от принятой закономерности роста трещины от начальной длины l_0 до конечной l_c . К настоящему времени предложено несколько аналитических зависимостей для описания этой закономерности. Общим для этих формул является то, что все они эмпирические и ни одну из них нельзя считать

универсальной. Более известной является формула Париса [4]. Для облегчения понимания дальнейшего алгоритма расчета приведем ее заново. Итак, скорость роста трещины по предложению Париса определяется формулой

$$\frac{dl}{dN} = C(C_1 \Delta \sigma \sqrt{\pi l})^q,$$

где C и q – величины, которые зависят от механических свойств материала детали и условий ее нагружения; $\Delta \sigma$ – размах действующих переменных напряжений, C_1 – поправочный коэффициент на пластичность в вершине трещины.

Таким образом, при известных значениях C и q остаточная долговечность детали с трещиной определяется в результате интегрирования приведенной зависимости.

По сути изложенное представляет собой алгоритм расчета остаточной долговечности детали с трещиной. Продемонстрируем его реальное применение на конкретных примерах.

Пример 1. Расчет остаточной долговечности опорного бурта блока цилиндров двигателя 8NVD48A.

Дизели 8NVD48A получили широкое распространение на отечественных промысловых судах. Это четырехтактные тронковые двигатели с наддувом, мощностью 970 кВт при 428 мин⁻¹, имеют диаметр цилиндра 320 мм и ход поршня 480 мм. Блок цилиндров изготовлен из серого чугуна СЧ35, для которого предел прочности при растяжении $\sigma_b = 340$ МПа, предел прочности при сжатии $\sigma_{bc} = 1170$ МПа, предел прочности при изгибе $\sigma_{bu} = 530$ МПа, предел выносливости $\sigma_{-1} = 150$ МПа.

На рис. 2 представлен эскиз опорного бурта цилиндровой втулки с трещиной. Общая наработка двигателя на момент обнаружения трещины составила 33 000 часов. Нароботка после последнего ремонта – 3000 часов. Местонахождение и протяженность трещины определены магнитопорошковым методом: выявлена трещина протяженностью 300 мм и максимальной глубиной 12,2 мм.

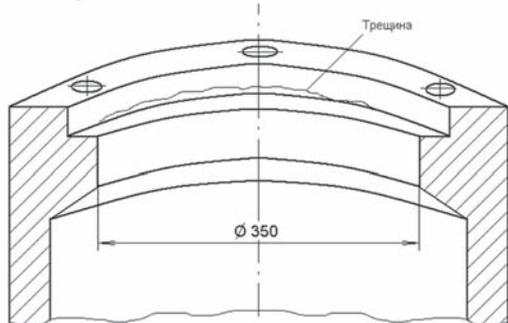


Рис. 2. Эскиз опорного бурта блока цилиндров с трещиной

В качестве расчетной нагрузки рассматриваем максимальное давление сгорания $p_z = 7,8$ МПа. Обусловленная этим давлением сила

$$P_z = p_z \cdot F = 7,8 \cdot 0,08 = 624 \text{ кН},$$

где F – площадь поршня,

$$F = \pi \cdot D^2 / 4 = \pi \cdot 0,32^2 / 4 = 0,08 \text{ м}^2.$$

Нагружение опорного бурта блока цилиндров определяется затяжкой шпилек крепления головки цилиндра. Расчетная схема нагружения показана на рис. 3. Поясним ее суть. В процессе монтажа головка цилиндра прижимается к цилиндровой втулке усилием затяжки шпилек

$$Q = m(1 - \chi)P_z = 2(1 - 0,2)624 = 998,4 \text{ кН},$$

где χ – коэффициент основной нагрузки, для подобных соединений $\chi = 0,2$; m – коэффициент запаса затяжки шпилек крепления головки, принимаем $m = 2$.

От действия силы Q возникает реакция на опорной поверхности бурта блока цилиндров Q' . Из условия равновесия $Q = Q'$.

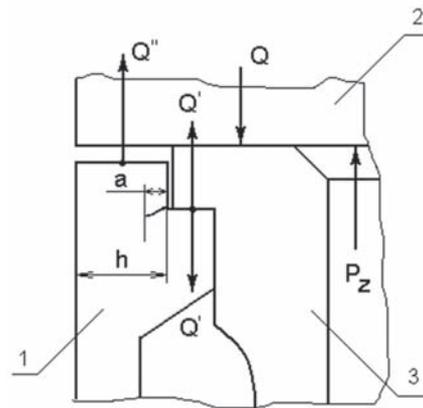


Рис. 3. Схема нагружения опорного бурта блока цилиндров

1 – блок цилиндров, 2 – головка цилиндра, 3 – цилиндровой втулки

При работе ДВС на головку цилиндра, кроме рассмотренной силы Q , будут действовать силы от давления газов. Их результирующее значение равно P_z . Вектор этой силы направлен вверх (см. рис. 3), поэтому она уменьшает реакцию на опорной поверхности бурта и одновременно увеличивает растяжение шпилек головки цилиндра. Величина остаточной реакции

$$Q' = Q - P_z = 998,4 - 624 = 374,4 \text{ кН}.$$

Сила растяжения шпилек крепления головки

$$Q'' = Q + P_z = 998,4 + 624 = 1622,4 \text{ кН}.$$

Все рассмотренные выше силы носят переменный характер. С точностью, достаточной для инженерных расчетов, полагаем, что сила P_z изменяется по отнулевому циклу. С учетом этого, а также на основании физической картины нагружения изменение реакции на опорной поверхности и усилия в шпильках подчиняется знакопостоянному циклу. Экстремальные значения этих сил:

для реакции

$$Q'_{\max} = 998,4 \text{ кН}; Q'_{\min} = 374,4 \text{ кН},$$

для усилия в шпильках

$$Q''_{\max} = 1622,4 \text{ кН}; Q''_{\min} = 998,4 \text{ кН}.$$

От действия указанных сил возникают напряжения в блоке цилиндров. Их эквивалентные значения в месте расположения трещины вычисляли с использованием метода конечных элементов по программе ANSYS. Одно сечение конечно-элементной модели и напряженно-деформированное состояние опорного бурта блока цилиндров показаны соответственно на рис. 4. Результаты данного расчета следующие: напряжения в месте расположения трещины: $\sigma_{\max} = 22$ МПа, $\sigma_{\min} = 10,8$ МПа.

Далее выполняем расчет остаточной долговечности рассматриваемого сечения в полном соответствии с изложенным выше алгоритмом.

Вычисляем коэффициент асимметрии действующих нагрузок:

$$R_1 = 374,4 / 998,4 = 0,375;$$

$$R_2 = 998,4 / 1622,4 = 0,615.$$

Среднее значение коэффициента асимметрии

$$R = 0,5(R_1 + R_2) = 0,5(0,375 + 0,615) = 0,495.$$

Размах порогового коэффициента интенсивности напряжений

$$\Delta K_h = 12,7 - 0,006 \sigma_b - (11,37 - 0,0065 \sigma_b) R = 12,7 - 0,006 \cdot 340 - (11,37 - 0,0065 \cdot 340) \cdot 0,495 = 6,13 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5}.$$

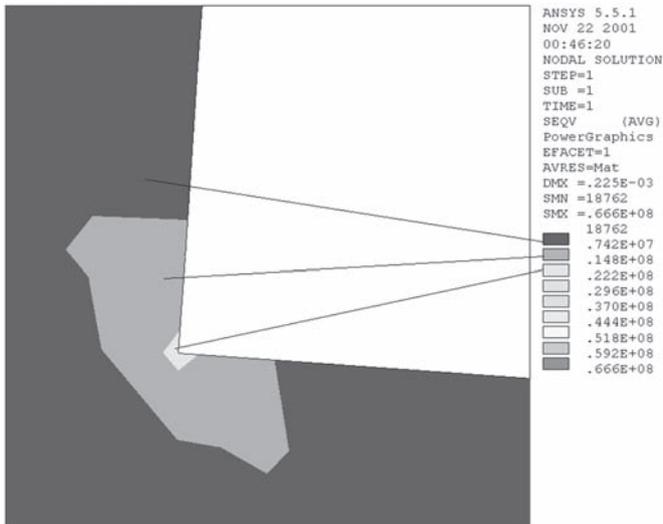


Рис. 4. Напряженное состояние опорного бурта блока цилиндров в месте расположения трещины

Пороговый коэффициент интенсивности напряжений

$$K_h = \frac{\Delta K_h}{1-R} = \frac{6,13}{1-0,495} = 12,13 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}.$$

Для вычисления фактического значения коэффициента интенсивности напряжений используем следующую формулу:

$$K = Y \frac{Q}{bh} \sqrt{l_0} = 2,1 \cdot 16,4 \cdot \sqrt{0,0122} = 3,8 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5},$$

где l_0 – начальный размер трещины, $l_0 = 12,2$ мм; h – толщина опорного бурта блока цилиндров, принимаем по конструктивным соотношениям $h = 120$ мм; b – длина опорного бурта, на протяжении которой обнаружена трещина, $b = 300$ мм; из расчета с использованием конечно-элементной модели рассчитаем среднее значение напряжений в месте расположения трещины:

$$Q/(b \cdot h) = \sigma_m = 0,5(\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) = 0,5(22 + 10,8) = 16,4 \text{ МПа};$$

Y – коэффициент, вычисляем по формуле

$$Y = 1,99 - 0,41 \left(\frac{l_0}{h}\right) + 18,7 \left(\frac{l_0}{h}\right)^2 - 38,48 \left(\frac{l_0}{h}\right)^3 + 53,87 \left(\frac{l_0}{h}\right)^4 =$$

$$= 1,99 - 0,41 \left(\frac{12,2}{120}\right) + 18,7 \left(\frac{12,2}{120}\right)^2 - 38,48 \left(\frac{12,2}{120}\right)^3 +$$

$$+ 53,87 \left(\frac{12,2}{120}\right)^4 = 2,1.$$

Поскольку $K < K_h$ ($3,8 < 12,13$), разрушения по трещине не будет. Другими словами, трещина в блоке цилиндров еще не достигла тех размеров, при которых ее развитие идет с ускоренной скоростью. Таким образом, можно сделать вывод: рассматриваемая трещина не представляет опасности для прочности цилиндрического блока, а поэтому возможна его эксплуатация без устранения трещины.

Косвенным подтверждением правомерности данного вывода служит следующий факт: после обнаружения трещины в виде исключения было дано разрешение на дальнейшую эксплуатацию судна в течение одного промыслового рейса. За время этого рейса аварийного повреждения блока цилиндров не произошло. Справедливости ради отметим, что эксплуатация двигателя проходила в щадящем режиме.

Пример 2. Расчет остаточной долговечности шатуна.

Данный пример носит иллюстративный характер. По этой причине исходные данные для примера отвечают гипотетическому двигателю 6ЧН 21/21. Это тронковый V-образный дизель с центральными шатунами.

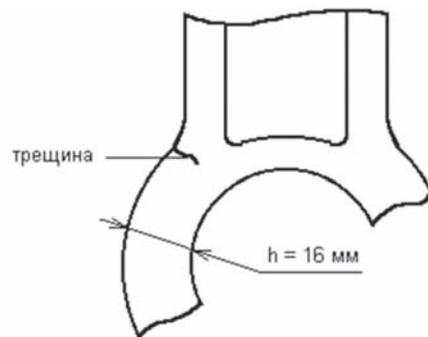


Рис. 5. Фрагмент кривошипной головки шатуна

Пусть при техническом осмотре в кривошипной головке шатуна обнаружена поперечная сквозная трещина глубиной 0,1 мм (рис. 5). Толщина сечения в месте расположения трещины $t = 16$ мм, ширина головки $b = 68$ мм, материал – сталь 38ХНМЮА, для которой: $\sigma_B = 980$ МПа, $\sigma_T = 640$ МПа, $\sigma_{-1} = 300$ МПа.

Из динамического расчета двигателя известны: сила, растягивающая шатун $P_p = -0,0734$ МПа; сила, сжимающая шатун $P_c = 0,332$ МПа.

Напомним, для оценки долговечности кривошипной головки шатуна с трещиной необходима информация о трех параметрах: начальный размер трещины $l_0 = 0,1$ мм; скорость роста трещины dl/dN ; критический размер трещины l_c , при котором происходит ее неуправляемое развитие и разрушение детали. Для определения l_c сначала вычислим пороговый коэффициент интенсивности напряжений

$$\Delta K_h = 12,7 - 0,006 \sigma_T - (11,37 - 0,0065 \sigma_T) R =$$

$$= 12,7 - 0,006 \cdot 640 - (11,37 - 0,0065 \cdot 640) \cdot (-0,22) =$$

$$= 16,07 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5},$$

где R – коэффициент асимметрии:

$$R = \frac{P_p}{P_c} = \frac{-0,0734}{0,332} = -0,22.$$

Соответствующее значение

$$K_h = \frac{\Delta K_h}{1-R} = \frac{16,07}{1+0,22} = 16,69 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}.$$

Вычисляем критическое значение коэффициента интенсивности напряжений

$$K_c = \sqrt{(V_{\max} - V_{\min}) \frac{\pi \sigma_T E}{2 \cdot 10^{-3} Y} + K_h^2} =$$

$$= \sqrt{(10^{-8} - 10^{-11}) \cdot \frac{\pi \cdot 640 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1} + 16,69^2} = 46,86 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{0,5}.$$

Находим минимальную толщину сечения, при которой выполняется условие плоской деформации

$$t_{\min} = 2,5 \cdot \left(\frac{K_c}{\sigma_T}\right)^2 = 2,5 \cdot \left(\frac{46,86}{640}\right)^2 = 0,013 \text{ м}.$$

Так как $t > t_{\min}$, условие плоской деформации выполняется.

Для вычисления критических размеров трещины исходим из того, что трещина испытывает деформацию отрыва [5]. На данном основании имеем $l_c = 0,82$ мм.

Для оценки остаточной долговечности в циклах нагружения воспользуемся уравнением Париса. Однако сначала учтем поправку к размеру трещины на пластическую деформацию. Величина этой поправки для плоской деформации вычисляется по формуле

$$\Delta l = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{K_c}{\sigma_T}\right)^2 = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{46,86}{640}\right)^2 = 0,28 \text{ мм}.$$

Таким образом, эффективная длина трещины будет

$$l_0 = 0,1 + 0,28 = 0,38 \text{ мм}; l'_c = 0,82 + 0,28 = 1,1 \text{ мм}.$$

В уравнении Париса

$$\frac{dl}{dN} = C(\Delta K)^q.$$

Значения C и q принимаем $C = 2,5 \cdot 10^{-15}$; $q = 3$ [6]. Поскольку $\Delta K = C_1 \Delta \sigma \sqrt{\pi l}$, коэффициент C_1 подсчитываем для критического размера трещины:

$$C_1 = \frac{\Delta K_c}{\Delta \sigma \sqrt{\pi l}} = \frac{38,41}{152,6 \cdot \sqrt{\pi \cdot 1,1 \cdot 10^{-3}}} = 4,28.$$

В данной формуле

$$\Delta K_c = K_c \cdot (1 - R) = 46,86 \cdot (1 + 0,22) = 38,41 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{0,5};$$

$$\Delta \sigma = \frac{P_p + P_c}{2bt} = \frac{0,0734 + 0,332}{2 \cdot 0,068 \cdot 0,016} = 152,6 \text{ МПа}.$$

С учетом этих вычислений уравнение Париса можно представить так:

$$\frac{dl}{dN} = 2,5 \cdot 10^{-15} (4,28 \cdot 152,6 \sqrt{\pi l})^3$$

или

$$\frac{dl}{l^{\frac{3}{2}}} = 3,88 \cdot 10^{-6} dN.$$

Интегрируя обе части этого равенства в пределах: нижний $l_0 = 0,38$ мм; верхний $l'_c = 1,1$ мм, при $N_0 = 0$, получаем

$$\int_{0,38}^{1,1} \frac{dl}{l^{\frac{3}{2}}} = \int_0^N 3,88 \cdot 10^{-6} dN; \quad \left. \frac{-2}{\sqrt{l}} \right|_{0,38}^{1,1} = 3,88 \cdot 10^{-6} N;$$

$$\frac{-2}{\sqrt{1,1}} + \frac{2}{\sqrt{0,38}} = 3,88 \cdot 10^{-6} N; \quad N = 345 \cdot 10^3 \text{ циклов}.$$

Таким образом, остаточная долговечность шатуна после обнаружения трещины длиной 0,1 мм оценивается в 345 000 циклов переменных напряжений.

Результаты приведенных примеров подтверждают озвученный в начале статьи тезис о неоднозначности влияния трещины на работоспособность детали. В одних случаях эксплуатация детали с трещиной действительно возможна, но ограниченное время в пределах остаточного ресурса. В других – трещина вообще не представляет

опасности для прочности детали. Следовательно, наличие самого факта трещины не может служить браковочным критерием для детали, а поэтому категорический запрет на эксплуатацию деталей с трещинами не является строго обязательным.

В заключение отметим, что несмотря на довольно сложный процесс разрушения детали с трещиной, его удается прогнозировать расчетным путем. Более того, с помощью этих расчетов можно управлять остаточной долговечностью, например, определять допустимую нагрузку из условия длительности дальнейшей работы детали без поломки. Умение прогнозировать остаточный ресурс важно еще и потому, что для большинства даже весьма ответственных деталей судовых машин и механизмов наличие трещин – не редкость.

Наконец, отметим: после прочтения статьи может сложиться мнение, что в вопросах определения остаточной долговечности все ясно и никаких проблем нет. На самом деле это далеко не так. Проблемы существуют, и они касаются главным образом проверки получаемых результатов расчета не только на лабораторных образцах, но и на реальных деталях в процессе их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Козаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П.* Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: Справ. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.
2. *Коллинз Дж.* Повреждение материалов в конструкциях. Анализ, предсказание, предотвращение. – М.: Мир, 1984. – 624 с.
3. *Пестриков В.М., Морозов М.Е.* Механика разрушения твердых тел: курс лекций. – СПб.: Профессия. 2002. – 320 с.
4. *Румб В.К.* Прочность и долговечность судовых машин и механизмов: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СПбГМТУ, 2014. – 237 с.
5. *Сорокин В.А.* Проблемы реновации судовых ДВС // Двигателестроение. – 2018. – № 4. С.24-30.
6. *Троценко В.Т., Покровский В.В., Проконенко А.В.* Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении. – Киев: Наукова Думка, 1987. – 576 с. ■

Одно из значимых направлений в судостроении и судоремонте – увеличение производительности и работоспособности судового валопровода, который представляет собой систему валов, опирающиеся на дейдвудные и промежуточные подшипники. Он является промежуточным звеном, соединяющим главный двигатель с двигателем. Валопровод считается важным механизмом в эксплуатации судна и представляет собой сложную динамическую систему, от которого зависит живучесть судна или корабля. Безусловно, от рабочего состояния судового валопровода зависит подведенная мощность к гребному винту [1, 6, 9, 10].

В процессе эксплуатации на судовом валопровод действуют постоянные, переменные и циклические нагрузки, что приводит к износу и образованию дефектов не только самого валопровода, но и дейдвудных подшипников. Их износ приводит к расцентровке и возникновению дополнительному напряженно-деформированному состоянию валопровода. Также повышенный зазор между гребным валом валопровода с дейдвудным подшипником, как правило, становится причиной резонансного состояния поперечных колебаний самого валопровода, которая возникает при равенстве собственной частоты с вынужденной. Исходя из этого, можно сделать вывод, что повышенный износ дейдвудного подшипника приводит к уменьшению собственной частоты всей системы судовой энергетической установки судна «двигатель–валопровод–гребной винт» [1, 3, 15].

На основании ряда работ [3, 5, 7, 12] можно сделать вывод, что повышенный износ дейдвудного подшипника приводит к уменьшению собственной частоты системы судовой энергетической установки «двигатель–валопровод–гребной винт». Поэтому одним из критериев рабочего состояния валопровода является предельный зазор между гребным валом и дейдвудным подшипником, который в процессе износа увеличивается. Предельно допустимые зазоры при эксплуатации в дейдвудных подшипниках, набранных планками из бакаута, древесных слоистых пластиков ДСП-А и ДСП-Б, древесно-текстолитового пластика Д5ТСП, лигнита, новотекса, капрона и резино-металлических цельных капролоновых втулок должны соответствовать нормативным значениям, которые определяются по формулам [3, 9, 12]:

– для дейдвудных подшипников с вкладышами из немаetalлических материалов при диаметре вала по облицовке $d_{гр} \leq 600$ мм:

$$\Delta = 0,012d_{гр} + 1,8; \quad (1)$$

– для дейдвудных подшипников с вкладышами из немаetalлических материалов при диаметре вала по облицовке $d_{гр} \geq 600$ мм:

$$\Delta = 0,002d_{гр} + 6, \quad (2)$$

где Δ – предельный допустимый зазор при эксплуатации, мм; $d_{гр}$ – диаметр гребного вала по облицовке, мм.

В работе [11] для определения монтажных и допускаемых значений износов дейдвудных подшипников В.К.Румб рассматривает следующее выражение:

$$\Delta = 3,643 \frac{\mu n d l}{h p \left(1 + \frac{l}{d}\right)}, \quad (3)$$

где μ – динамическая вязкость смазки, Па; n – частота вращения вала, мин⁻¹; d – диаметр шейки вала, м; h – толщина смазочного слоя, мкм; p – средняя удельная нагрузка в подшипнике, МПа; l – длина подшипника, м.

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РАСЧЕТУ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ СУДОВОГО ВАЛОПРОВОДА С УЧЕТОМ ИЗНОСА ДЕЙДВУДНОГО ПОДШИПНИКА

А.А. Халявкин, канд. техн. наук, доцент

КИМРТ им. ген.-адм. Ф. М. Апраксина – филиала ФГБОУ ВО «ВГУВТ»,

С.А. Макеев, д-р техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «СибАДИ»,

А.И. Мащенко, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «АГТУ»,

Д.О. Шацков, канд. физ.-мат. наук., доцент,

А.Я. Ауслендер, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО «АГУ»,

контакт. тел. +7 (917) 084 6082, +7 (927) 571 2399, sopromat112@mail.ru, makeev608079@mail.ru, auslender.anna@mail.ru

Автор работы отмечает, что при заданном значении толщины смазочного слоя h вычисление зазора Δ по (3) не представляет затруднений. Сложность определения h обусловлена тем, что величина μ , входящая в выражение, зависит не только от вида смазки, но и от температуры в рабочей зоне подшипника. При повышении температуры вязкость уменьшается. Выражение определения вязкости может быть представлена в виде [11]:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T_0}{T}\right)^m, \quad (4)$$

где μ_0 – динамическая вязкость смазки, соответствующая температуре T_0 ; m – показатель степени, причем для масел дейдвудных подшипников $m = 2,5 \div 3,5$.

Поэтому выражение (3) не позволяет с высокой точностью определить монтажный и допускаемый зазор в дейдвудном подшипнике.

Для оценки технического состояния и повышения достоверности контроля рабочего состояния подшипниковых узлов при эксплуатации турбин и компрессоров в работе [8] представлено выражение коэффициента жесткости подшипника, которое имеет вид

$$C = \frac{m \cdot \omega_1^2 \cdot \omega_2^2 \cdot (A_2 + A_1)}{A_2 \cdot \omega_1^2 - A_1 \cdot \omega_2^2}, \quad (5)$$

где C – жесткость подшипниковой опоры; m – эффективная масса подшипникового узла; A_1, A_2 – амплитуда колебаний подшипникового узла; ω – угловая скорость вращения вала.

В самой работе также отмечается, что предлагаемый способ и уравнение (2) позволяют оперативно и эффективно осуществлять контроль жесткости подшипниковых опор, так как определение жесткости проводится с учетом условий эксплуатации (частота вращения вала, зазор в подшипнике) исследуемого оборудования.

Для оценки влияния износа дейдвудного подшипника на рабочее состояние валопровода в работах [4, 9, 15] рассматривают расчетную схему как балку, нагруженную распределенной и сосредоточенной нагрузками, которая опирается на независимые друг от друга упругие опоры с разным коэффициентом жесткости k . Значение этого коэффициента характеризуется именно износами дейдвудных подшипников. Обоснование выбора того или иного численного значения коэффициента жесткости в работах не приводится.

Важно отметить, что одними из критериев рабочего состояния валопровода или дейдвудного подшипника являются именно собственная частота поперечных колебаний и явление резонансного состояния. В многочисленных работах, также посвященных расчету поперечных колебаний валопроводов, отмечается, что в расчетной схеме достаточно рассмотреть только гребную часть валопровода, так как именно она явля-

ется наиболее нагруженной и имеет наименьшую собственную частоту [1, 10, 13].

На основании вышесказанного для определения допустимой величины износа кормового дейдвудного подшипника был разработан метод, который основан на полученных результатах исследования надежности судового валопровода [4, 9, 14]. Суть метода – это определение общего коэффициента жесткости упругой опоры исследуемой расчетной схемы валопровода с учетом податливости материала и геометрических размеров дейдвудных подшипников, величины смещения опоры и собственной частоты поперечных колебаний валопровода с распределенными параметрами. Само смещение опоры от оси балки в расчетной схеме, которая не превышает предела пропорциональности напряжения и закон Гука сохраняет силу, характеризует сам износ Δ дейдвудных подшипников. В целом сам метод основывается на исследовании трех расчетных схем.

В качестве примера рассмотрим расчетную схему гребной части валопровода в виде балки, которая опирается на одну упругую опору (рис. 1, а) и нагружена распределенной нагрузкой q , моделирующей вес гребного вала. На одном конце балки имеется заземленная опора, на другом – сосредоточенная нагрузка P , которая в свою очередь моделирует вес гребного винта. Изгибная жесткость EJ постоянна по всей длине балки.

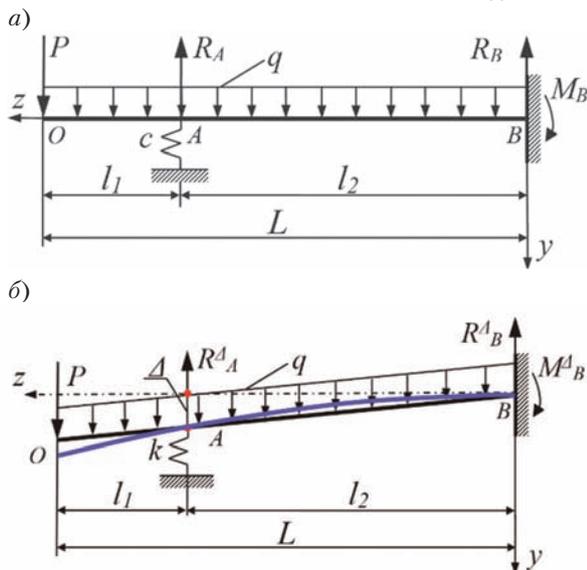


Рис. 1. Расчетная схема валопровода

На рис. 1, а, где балка расположена по оси z , коэффициент жесткости c упругой опоры характеризует общую жесткость дейдвудного подшипника. На основании граничных условий (в точке B прогиб $y_B = 0$, угол поворота $\varphi_B = 0$; реакция в опоре $R_A = -c y_A$, y_A – осадка опоры) и метода начальных параметров [2] составляем систему однородных уравнений данной расчетной схемы [12, 13]:

$$\begin{cases} -V_{oc} + \varphi_{oc} L + \frac{1}{EJ} \left[\frac{R_A c (l_2)^3}{6} - \frac{PL^3}{6} - \frac{qL^4}{24} \right] = 0; \\ -\varphi_{oc} L - \frac{1}{EJ} \left[\frac{R_A (l_2)^2}{2} - \frac{PL^2}{2} - \frac{qL^3}{6} \right] = 0; \\ -V_{oc} + \varphi_{oc} l_1 + \frac{1}{EJ} \left[-\frac{Pl_1^3}{6} - \frac{ql_1^4}{24} \right] + \frac{R_A}{c} = 0. \end{cases} \quad (6)$$

На основании полученной системы уравнений (6) определяем статический прогиб балки V_{oc} в точке O от общего коэффициента жесткости упругой опоры:

$$V_{oc} = f(c, L, l_1, l_2, EJ, P, q). \quad (7)$$

Далее определяем статический прогиб балки в точке O расчетной схемы, которая представлена на рис. 1, б. Здесь упругая опора в точке A смещена относительно оси z на величину Δ . Система уравнений примет уже следующий вид:

$$\begin{cases} -V_{ok} + \varphi_{ok} L + \frac{1}{EJ} \left[\frac{R_A \Delta (l_2)^3}{6} - \frac{PL^3}{6} - \frac{qL^4}{24} \right] = 0; \\ -\varphi_{ok} L - \frac{1}{EJ} \left[\frac{R_A \Delta (l_2)^2}{2} - \frac{PL^2}{2} - \frac{qL^3}{6} \right] = 0; \\ -V_{ok} + \varphi_{ok} l_1 + \frac{1}{EJ} \left[-\frac{Pl_1^3}{6} - \frac{ql_1^4}{24} \right] + \frac{R_A \Delta}{k} = \Delta. \end{cases} \quad (8)$$

В полученной системе коэффициент жесткости k упругой опоры ($R_A \Delta = -k y_A$) характеризует материал втулок или вкладышей дейдвудных подшипников и лежит в диапазоне от $1 \cdot 10^8$ до $1 \cdot 10^{10}$ Н/м [4, 9, 13, 14]. Поэтому статический прогиб V_{ok} рассматриваемой расчетной схемы зависит от коэффициента жесткости k и величины смещения Δ упругой опоры относительно оси z :

$$V_{ok} = f(k, \Delta, L, l_1, l_2, EJ, P, q). \quad (9)$$

Условием определения общего коэффициента жесткости c (рис. 1, а) является равенство статических прогибов (7), (9): $V_{oc} = V_{ok}$.

На основании условия (10) определяем коэффициент жесткости c дейдвудного подшипника судового валопровода:

$$c = \frac{k \left(P(-4l_1^3 + 12l_1 l_2^2 - 8L^3) + \right)}{\left(k(4\Delta l_2^3 + 12\Delta l_2^2 l_1 - 12\Delta l_2^2 L) + \right)} \cdot \frac{\left(-l_1^4 + 4l_1 l_2^3 - 3L^4 \right) + 24\Delta EJ}{+P(12l_1 l_2^2 - 8L^3 - 4l_1^3) + q(4l_1 l_2^3 - 3L^4 - l_1^4)}. \quad (11)$$

Следует отметить, что при смещении упругой опоры (см. рис. 1, б), равным нулю ($\Delta = 0$), значение общего коэффициента жесткости подшипника равно значению коэффициента жесткости материала ($c = k$).

Далее для определения собственной частоты поперечных колебаний с распределенными параметрами рассмотрим расчетную схему, которая представлена на рис. 2. Балка с погонной массой m опирается на упругую опору с коэффициентом жесткости c (11). На одном конце балки имеется груз массой M .

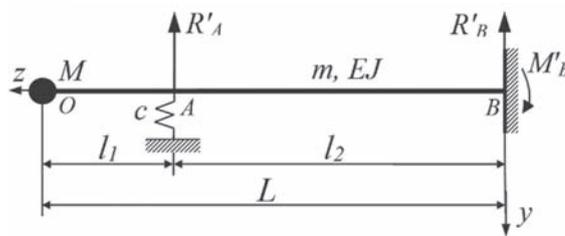


Рис. 2. Расчетная схема балки на упругой опоре M – масса гребного винта; m – погонная масса гребного вала; R_B, R_A – реакции опор

За начало координат принимает точку B исследуемой расчетной схемы. Граничные условия примут вид

$$y_{z=0} = 0; \quad \frac{dy}{dz} \Big|_{z=0} = 0; \quad (12)$$

$$\frac{d^2 y}{dz^2} \Big|_{z=L} = 0; \quad M \omega^2 y_{z=L} = -EJ \frac{d^3 y}{dz^3} \Big|_{z=L}.$$

Дифференциальное уравнение свободных изгибных колебаний такой балки на каждом пролете имеет вид [12, 13]

$$EJ \frac{d^4 \xi}{dz^4} + m \frac{d^2 \xi}{dt^2} = 0, \quad (13)$$

где ξ – поперечное смещение сечения балки; z – координата сечения; EJ – жесткость сечения при изгибе; M – погонная масса балки.

Выполняем решение уравнения (13):

$$\xi(z, t) = y(z) \sin(\omega t + \varphi_c), \quad (14)$$

где y — амплитуда колебаний балки; ω — собственная частота; φ_c — сдвиг фаз (будем считать, что $\varphi_c = 0$).

Используя известные функции А. Н. Крылова, представленные в работе [12], находим общее решение уравнения (13):

$$y(z) = y_0 \cdot K_1(\alpha z) + \frac{\varphi_0}{\alpha} \cdot K_2(\alpha z) + \frac{M_0}{\alpha^2 EJ} \cdot K_3(\alpha z) + \frac{Q_0}{\alpha^3 EJ} \cdot K_4(\alpha z), \quad (15)$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{m\omega^2}{EJ}}, \quad (16)$$

где y_0 , φ_0 , M_0 , Q_0 — соответственно амплитуды прогиба, угла поворота, изгибающего момента и поперечной силы при $z = 0$.

Функции А. Н. Крылова имеют следующий вид:

$$K_1 = \frac{1}{2}(ch(\alpha z) + \cos(\alpha z)); K_2 = \frac{1}{2}(sh(\alpha z) + \sin(\alpha z)); K_3 = \frac{1}{2}(ch(\alpha z) - \cos(\alpha z)); K_4 = \frac{1}{2}(sh(\alpha z) - \sin(\alpha z)) \quad (17)$$

и связаны между собой производными

$$\frac{d}{dz} K_1(\alpha z) = \alpha K_4(\alpha z); \frac{d}{dz} K_2(\alpha z) = \alpha K_1(\alpha z); \frac{d}{dz} K_3(\alpha z) = \alpha K_2(\alpha z); \frac{d}{dz} K_4(\alpha z) = \alpha K_3(\alpha z). \quad (18)$$

На основании выражения (16) собственная циклическая частота поперечных колебаний балки будет иметь вид

$$\omega = \sqrt{\frac{\alpha^4 EJ}{m}}. \quad (19)$$

Функция амплитуды прогиба на первом участке ($0 \leq z \leq l_2$) имеет вид

$$y_I = \frac{M'_B}{\alpha^2 EJ} K_3(\alpha z) + \frac{R'_B}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha z). \quad (20)$$

При l_2 функцию (15) можно записать следующим образом:

$$y_a = \frac{M'_B}{\alpha^2 EJ} K_3(\alpha l_2) + \frac{R'_B}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha l_2) = y_a. \quad (21)$$

Функция амплитуды прогиба на втором участке ($l_2 \leq z \leq L$) имеет вид

$$y_{II} = \frac{M'_B}{\alpha^2 EJ} K_3(\alpha z) + \frac{R'_B}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha z) + \frac{R'_A}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha(z - l_2)). \quad (22)$$

При $z = L$ уравнение (15) можно представить в виде

$$y_L = \frac{M'_B}{\alpha^2 EJ} K_3(\alpha L) + \frac{R'_B}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha L) + \frac{R'_A}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha(L - l_2)). \quad (23)$$

Принимая во внимание выражение реакции упругой опоры в точке А, уравнение (23) будет иметь уже следующий вид:

$$y_L = \frac{M'_B}{\alpha^2 EJ} K_3(\alpha L) + \frac{R'_B}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha L) - \frac{y_A \cdot c}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha l_1). \quad (24)$$

На основании граничных условий (12) система уравнений примет вид

$$\begin{cases} \frac{M'_B}{\alpha^2 EJ} K_3(\alpha l_2) + \frac{R'_B}{\alpha^3 EJ} K_4(\alpha l_2) - y_A = 0; \\ M'_B \left(\frac{M\alpha^2}{m} K_3(\alpha L) + \alpha K_4(\alpha L) \right) + R'_B \left(\frac{M}{m} \alpha K_4(\alpha L) + K_1(\alpha L) \right) - y_A \left(c K_1(\alpha l_1) + \frac{M}{m} \alpha K_4(\alpha l_1) \right) = 0; \\ M'_B K_1(\alpha L) + \frac{R_0}{\alpha} K_2(\alpha L) - \frac{y_A \cdot c}{\alpha} K_2(\alpha(l_1)) = 0. \end{cases} \quad (25)$$

Условие существования ненулевого решения для системы однородных уравнений (25) состоит в равенстве нулю ее определителя, т.е.

$$\Delta_1 = |A_{11} A_{12} A_{13} A_{21} A_{22} A_{23} A_{31} A_{32} A_{33}| = 0, \quad (26)$$

где A_{ij} — коэффициенты при неизвестных значениях системы уравнений.

В нашем случае определитель (27) представляет собой трансцендентное уравнение, которое, как правило, не является алгебраическим и содержит показательные, логарифмические, тригонометрические, обратные тригонометрические функции.

Далее вычисляется значение величины α , входящей в функции А. Н. Крылова, при которой определитель системы равен нулю. Строится график зависимости определителя Δ_1 от значения α .

После определения α по уравнению (19) определяем уже угловую частоту поперечных колебаний балки:

$$p = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{EJ\alpha^4}{m}}. \quad (27)$$

Ниже в таблице представлены результаты расчета исследуемых параметров балки диаметром $d = 0,11$ мм и общей длиной $L = 3$ м ($l_1 = 0,4$ м, $l_2 = 2,6$ м) от изменения величины смещения Δ в диапазоне 0 мм до 5 мм с шагом 0,5 мм. Сосредоточенная нагрузка, моделирующая гребной винт валопровода, принималась равной $P = 1,2$ кН. Коэффициент жесткости материала дейдвудного подшипника на основании работ [4, 12] принимался равным $k = 1 \div 10^8$ Н/м.

Таблица

Значения собственной частоты при поперечных колебаниях валопроводов судов при различных коэффициентах жесткости

№	Коэффициент жесткости k , Н/м	Осадк Δ , мм	Коэффициент жесткости c , Н/м	Прогиб балки $V_{oc} = V_{ок}$, мм
1	$1 \cdot 10^8$	0	$1 \cdot 10^8$	0,07
2		0,5	$0,46 \cdot 10^7$	0,68
3		1	$0,22 \cdot 10^7$	1,3
4		1,5	$0,14 \cdot 10^7$	1,9
5		2	$0,99 \cdot 10^6$	2,52
6		2,5	$0,74 \cdot 10^6$	3,14
7		3	$0,58 \cdot 10^6$	3,75
8		3,5	$0,46 \cdot 10^6$	4,37
9		4	$0,37 \cdot 10^6$	4,98
10		4,5	$0,3 \cdot 10^6$	5,59
11		5	$0,24 \cdot 10^6$	6,21

В соответствии с приведенными в таблице значениями построен график зависимости собственной круговой частоты (28) от общего коэффициента жесткости c (11) упругой опоры расчетной схемы (рис. 3).

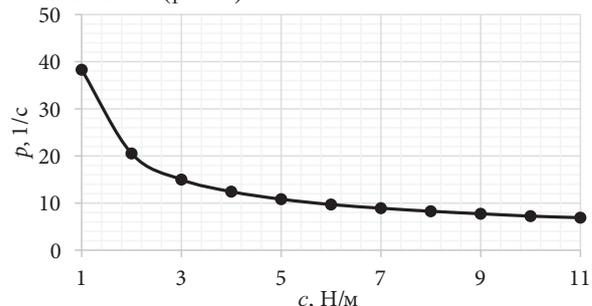


Рис. 3. График зависимости собственной круговой частоты p от коэффициента жесткости c

Из полученного графика видно, что износ дейдвудных подшипников существенно влияет на значение собственной частоты. При увеличении износа собственная частота поперечных колебаний уменьшается, что и приводит к резонансному состоянию валопровода.

Проведенное в работе исследование поперечных колебаний судового валопровода показало, что упругие свойства

дейдвудных подшипников не отражают всю картину изменения собственной частоты поперечных колебаний. Рассматривать только упругие и механические свойства дейдвудного подшипника недостаточно. В расчетах необходимо учитывать износ дейдвудного подшипника, что влияет на жесткостные параметры всей судовой энергетической установки судна.

Предлагаемый в работе метод расчета определения собственной частоты поперечных колебаний валопровода демонстрирует возникновение резонансного состояния от величины износа дейдвудных подшипников.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абрамович Б. Г., Меркулов В. А.* Уточнение метода расчета изгибных колебаний судовых валопроводов // Судостроение. – 1977. – № 1. – С. 35–39.
2. *Александров А.В., Потапов В.Д., Державин Б.П.* Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1995. – 560 с.
3. *Виноградов С.С., Гавриш П.И.* Износ и надежность винто-рулевого комплекса судов. – М.: Транспорт, 1970. – 232 с.
4. *Комаров В.В.* Состояние укладки гребных валов на дейдвудных опорах // Вестник АГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2006. – № 2 (31). – С. 259–267.
5. *Кушнер Г.А., Мамонтов В.А., Халаякин А.А., Шахов В.В.* Экспериментальное исследование поперечных колебаний валопровода судна проекта ВКМ-3 // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т.1. – № 1 (39). – С. 77 – 80.
6. *Матвеев Ю. И., Хлыбов А. А., Глебов В. В.* Исследование и разработка методики технической диагностики гребных валов // Вестник АГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2021. – № 4. – С. 52–61. doi: 10.24143/2073-1574-2021-4-52-61.
7. *Никитишев В.Е.* Метод диагностирования технического состояния дейдвудного устройства // Судоремонт флота рыбной промышленности. – 1980. – № 42. – С.11–13.
8. Патент № 1296890 СССР, G1 M13/04. Способ определения жесткости подшипниковых опор / М.В. Бойко, С.А. Сапрыкин, О.Ф. Полищук, А.А. Нефедов: заявитель и патентообладатель Украинский научно-исследовательский институт природных газов. – № 3920542/23-27; заявл. 01.07.85; опубл. 15.03.87 // Бюлл. 1987. – № 10. – 3 с.
9. *Рубин М.Б., Бахарева В.Е.* Подшипники в судовой технике: Справ.– Л.: Судостроение, 1987. – 344 с.
10. *Румб В. К.* Основы проектирования и расчета судового валопровода: учеб.пособие. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 1996. – 106 с.
11. *Румб В.К.* Прогнозирование долговечности дейдвудных подшипников // Морской вестник. – 2008. – № 2 (26). – С. 30–31.
12. *Халаякин А.А., Мамонтов В.А., Комаров М.П.* Влияние коэффициента жесткости капролона на частоту собственных колебаний валопроводов судов // Вестник АГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2012. – № 2. – С. 45–50.
13. *Халаякин А. А., Ауслендер А. Я.* Оценка влияния упругих свойств кормового дейдвудного подшипника на значение собственной частоты при линейных поперечных колебаниях судового валопровода // Вестник ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. – 2018. – Т. 10. – № 5. – С. 983–992. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-983-992.
14. *Халаякин А. А. и др.* Оценка влияния упругих свойств подшипников скольжения дейдвудного устройства судна на значение коэффициента жесткости / А.А. Халаякин, С.А. Макеев, Д.В. Лошадкин, В.А. Мамонтов, Али Саламех, Д.О. Шацков, А.Я. Ауслендер // Вестник АГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2020. – № 1. – С. 83–93. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-83-93.
15. *Шиманский, Ю.А.* Динамический расчет судовых конструкций. – Л.: Судпромгиз, 1963. – 295 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Известно [1], что полное растворение CO_2 в объеме сатуратора обеспечивается необходимым количеством воды, которое должно соответствовать массовому расходу поступающего в сатуратор углекислого газа, а также температуре и давлению воды внутри него.

Использование в схеме системы очистки рабочего газа от углекислого газа электронасоса с нерегулируемой подачей воды упрощает систему регулирования всего узла очистки топливного процессора, что приводит к повышению надежности ее работы [2]. Однако при этом снижаются экономические показатели системы циркуляции с насосом нерегулируемой производительности, поскольку возникает потребность в дроссельном регулировании или перепуске части потока воды через параллельную трубопроводную магистраль с дополнительной арматурой. Интерес представляет сравнение двух вариантов схем: с насосом переменной производительности и с насосом с постоянной частотой вращения, оборудованный клапаном рециркуляции.

ИСХОДНЫЕ УРАВНЕНИЯ К ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОЧИСТКИ РАБОЧЕГО ГАЗА С НЕРЕГУЛИРУЕМЫМ НАСОСОМ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Работа расходной части системы очистки (CO) рабочего газа с нерегу-

ЗАДАЧА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ОЧИСТКИ РАБОЧЕГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОНАСОСА И НЕРЕГУЛИРУЕМОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

*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*

лируемым насосом описывается следующими уравнениями [3]:

$$H = 10 \times (P - P_v);$$

$$Q = Q_n - Q_{rk};$$

$$Q_n = Q_n(H);$$

$$Q_{rk} = \frac{G_{rk}}{0,284};$$

$$G_{rk} = \xi \times F_{rk} \times \sqrt{2\rho_v \times \Delta P_{rk}};$$

$$\Delta P_{rk} = P - P_v;$$

$$F_{rk} = 20 \times h_{rk}^2.$$

Здесь приняты обозначения: H – напор насоса; Q , Q_n , Q_{rk} – объемные расходы воды на входе в абсорбер, на выходе из насоса и через клапан рециркуляции; $Q_n(H)$ – зависимость расхода от напора насоса в соответствии с его

характеристикой; ξ – коэффициент истечения через клапан (ξ принят равным 0,8 в соответствии с рекомендациями [4]); h_{rk} , F_{rk} – относительное перемещение и площадь открытия регулировочного клапана (РК); ρ_v – плотность воды; ΔP_{rk} – перепад давлений на клапане рециркуляции; P , P_v – давление воды в абсорбере и давление внешней воды.

Потребляемая насосом мощность N определяется зависимостью $N = N(Q_n)$, принимаемой по характеристике насоса.

При выполнении исследований работы CO с нерегулируемым насосом его характеристика $H(Q_n)$ принималась как частичная характеристика рассматриваемого насоса переменной производительности, полученная при его работе на постоянных оборотах. Выбор оборотов насоса проводился таким образом, чтобы

при изменении его напора в процессе эксплуатации $H = 10 \times (p - p_v)$ расход через насос был не меньше расхода воды в абсорбер, обеспечивающего полную растворимость CO_2 во внешней воде.

Работа регулятора расхода, управляющего перемещением РК, описывается следующими уравнениями:

$$dQ = (Q - Q_z) / 30;$$

$$h_{rkz} = K \times dQ; 0 \leq h_{rkz} \leq 1,$$

где Q_z – заданный расход воды на входе в абсорбер; h_{rkz} – заданное относительное перемещение РК; K – коэффициент усиления регулятора.

Изменение параметров СО при использовании схемы с нерегулируемым насосом для режимов работы с $p_v = 0,5$ и $p_v = 1,6$ МПа и принятых колебаниях давления синтез-газа на входе в абсорбер в случае управления ПК от регулятора давления, представлено на рис. 1 и рис. 2.

Сопоставление осциллограмм, приведенных на этих рисунках, с осциллограммами, приведенными на рисунках, полученных при регулировании расхода и давления в абсорбере для СО с насосом переменной производительности, показывает, что способ управления расходом воды в абсорбер практически не оказывает влияния на характер изменения параметров воды в нем.

Исключения составляют энергозатраты на привод насоса (шлейф 7). Для СО с насосом переменной производительности относительная мощность, потребляемая насосом, уменьшается с 0,5 до 0,08 при увеличении давления внешней воды p_v с 0,5 до 1,6 МПа. Наоборот, для СО с нерегулируемым насосом при изменении p_v в этих же пределах относительное изменение мощности остается практически неизменным: ($\frac{N}{20} = 0,77$ при $p_v = 0,5$ МПа и $\frac{N}{20} = 0,79$ при $p_v = 1,6$ МПа).

Это вызвано необходимостью иметь избыточные запасы по напору и расходу нерегулируемого насоса для обеспечения требуемых параметров воды в абсорбере при изменении условий эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение вариантов схем, использующих насос с постоянной частотой вращения, оборудованный клапаном рециркуляции (первый вариант), или насос переменной производительности (второй вариант), показывает, что обе схемы позволяют достичь требуемого качества процессов управления параметрами абсорбера.

Выбор варианта схемы СО зависит от диапазонов изменения давления

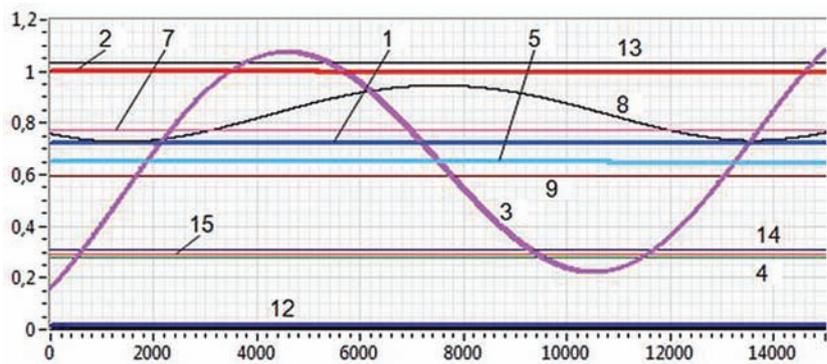


Рис. 1. Регулирование расхода и давления в абсорбере с помощью нерегулируемого насоса и клапана рециркуляции при давлении внешней воды $p_v = 0,5$ МПа

1 – относительный объемный расход воды на входе в абсорбер; 2 – относительное давление газо-водяной 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; 13 – относительный объемный расход через нерегулируемый насос; 14 – относительный объемный расход через клапан рециркуляции; 15 – относительное перемещение клапана рециркуляции

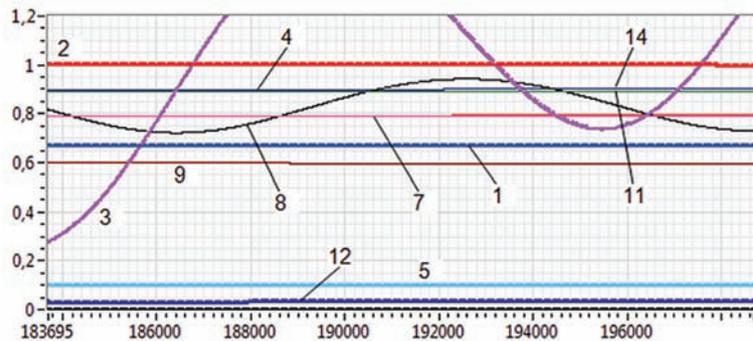


Рис. 2. Регулирование расхода и давления в абсорбере с помощью нерегулируемого насоса и клапана рециркуляции при давлении внешней воды $p_v = 1,6$ МПа

1 – относительный объемный расход воды на входе в абсорбер; 2 – относительное давление газо-водяной смеси в абсорбере; 3 – уровень воды в абсорбере; 4 – относительное давление внешней воды; 5 – относительный напор насоса; 7 – относительная мощность насоса; 8 – относительный расход газа на входе в абсорбер; 9 – относительный расход рабочего газа из абсорбера; 11 – относительное давление за ПК; 12 – относительное перемещение питательного клапана; 14 – относительный объемный расход через клапан рециркуляции;

внешней воды p_v и ее температуры t_v , при которых происходит работа узла очистки водорода от углекислого газа. При работе на небольших давлениях p_v и температурах t_v , когда напор, развиваемый нерегулируемым насосом, близок к максимальному, а расход через насос незначительно превышает заданный, энергозатраты на работу первого и второго вариантов схем становятся сопоставимыми, и на первое место выходит более высокая надежность первого варианта исполнения системы подачи воды. В остальных случаях преимущество имеет второй вариант исполнения, когда применяется насос переменной производительности. Особенно это актуально с экономических позиций, хотя привод насоса переменной производи-

тельности более сложный, и экономическое сравнение обоих вариантов требует дополнительного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коуль Артур Л., Ризенфельд Фред С. Очистка газа. – М.: Гостехиздат. 1962. – 395 с.
2. Голикевич Т.А. Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1977. – 160 с.
3. Скобло А.И., Трегубова И.А., Малоканов Ю.К. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Химия, 1982–584 с.
4. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам: (Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы)/Под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Работа современных высокотехнологичных потребителей крайне чувствительна к качеству напряжения, а также управляющих сигналов, поэтому возникает вопрос о повышении качества электроэнергии в питающей сети. Одним из наиболее современных и высокотехнологичных решений является применение активной фильтрации напряжения и сигналов как в силовых цепях, так и в подсистемах управления.

В связи с планируемой разработкой активного фильтра помех для использования в судовых преобразователях частоты необходимо ознакомиться с существующими решениями и, в частности, с принципами работы подсистем управления и результатами моделирования их работы. Все это позволяет выявлять оптимальные способы дальнейшего проектирования и разработки собственных решений, а также повышать качество выходного продукта и его работоспособность.

СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ LCL-ФИЛЬТРОВ

В работе [1] рассматривается проблема резонанса системы шунтирующего фильтра активной мощности на основе LCL-фильтра (рис. 1), широко используемого в преобразователях, подключенных к сети, для обеспечения хороших характеристик подавления гармоник. Однако резонансные полюса LCL-фильтра вызывают нестабильность системы, особенно цифровой системы управления. В статье исследуется метод подавления резонанса LCL-фильтра на выходе фильтра активной мощности. Из-за того, что традиционное активное демпфирование на основе тока конденсатора фильтра или обратной связи по напряжению конденсатора требует добавления дополнительных датчиков, предлагается новое активное демпфирование с обратной связью по составляющей тока на стороне сети. Анализ и конструкция функции обратной связи, характеристики подавления резонанса и влияние на характеристики компенсации гармоник подробно анализируются и, соответственно, предлагается новый метод активного управления демпфированием, основанный на квазирезонансной обратной связи по току на стороне сети контроллера (рис. 2). На основании анализа была создана математическая модель системы шунтирующего фильтра активной мощности с предложенным новым активным демпфированием (рис. 3) и проанализированы резонансные характеристики.

Исследуем проблему резонанса системы [2] шунтирующего фильтра актив-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПЛАТФОРМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

С.Г. Черный, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова»,
А.С. Соболев, инженер ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,

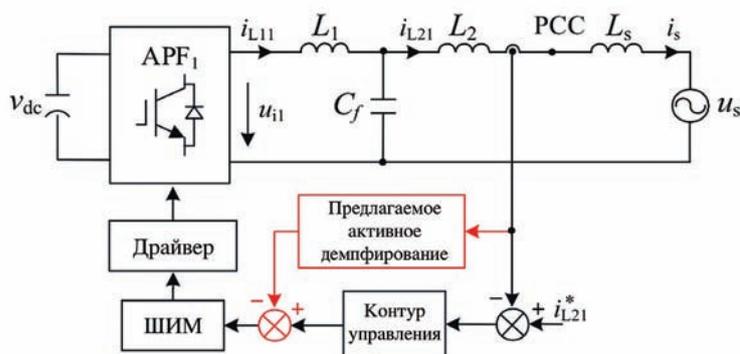
А.А. Зинченко, аспирант ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский морской технический университет»,

Е.Г. Зинченко, аспирант,

К.С. Чернобай, аспирант, ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,

контакт. тел. (812) 748 9642, sergiublack@gmail.com

а)



б)

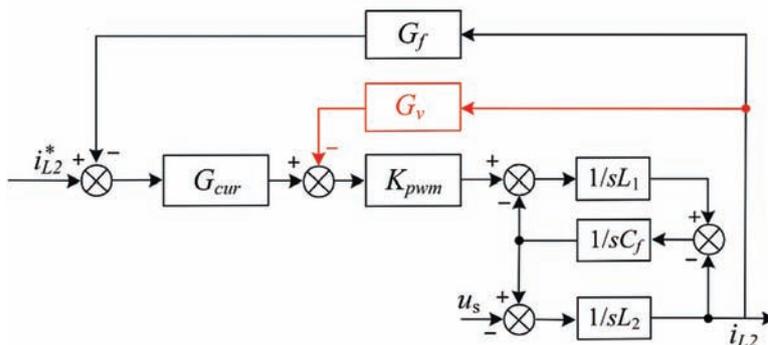


Рис. 1. Эквивалентная принципиальная схема LCL-фильтра шунтирующего фильтра активной мощности (а) и предлагаемая структурная схема эквивалентного управления активным демпфированием (б)

L_C, L_S – индуктивность на стороне инвертора и индуктивность на стороне сети, C_f – емкость фильтра, i_L – ток нагрузки

ной мощности на основе LCL-фильтра. Посредством создания параллельной эквивалентной схемы шунтирующего фильтра активной мощности была получена эквивалентная математическая модель замкнутой системы. Резонансные характеристики и новое активное демпфирование используются как функция обратной связи. Результаты экспериментов показывают, что предложенная стратегия активного демпфирования может эффективно подавлять

резонанс системы, не влияя на точность компенсации гармоник, и имеет определенную ценность для инженерного применения.

СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПОДАВЛЕНИЯ РЕЗОНАНСОВ

В работе [3] предлагается новый тип гибридной схемы с функцией подавления резонансов для решения проблемы гармоник низкого порядка при работе системы питания полонидального

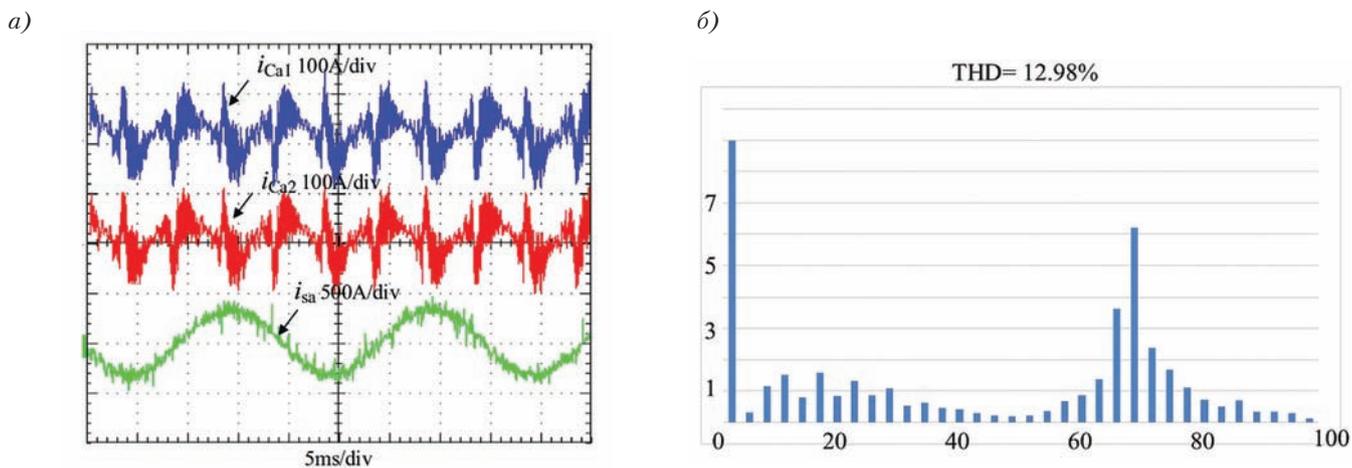


Рис. 2. Результаты эксперимента без активного демпфирования (а) и БПФ – быстрое преобразование Фурье (б) – анализ сетевого тока без активного демпфирования

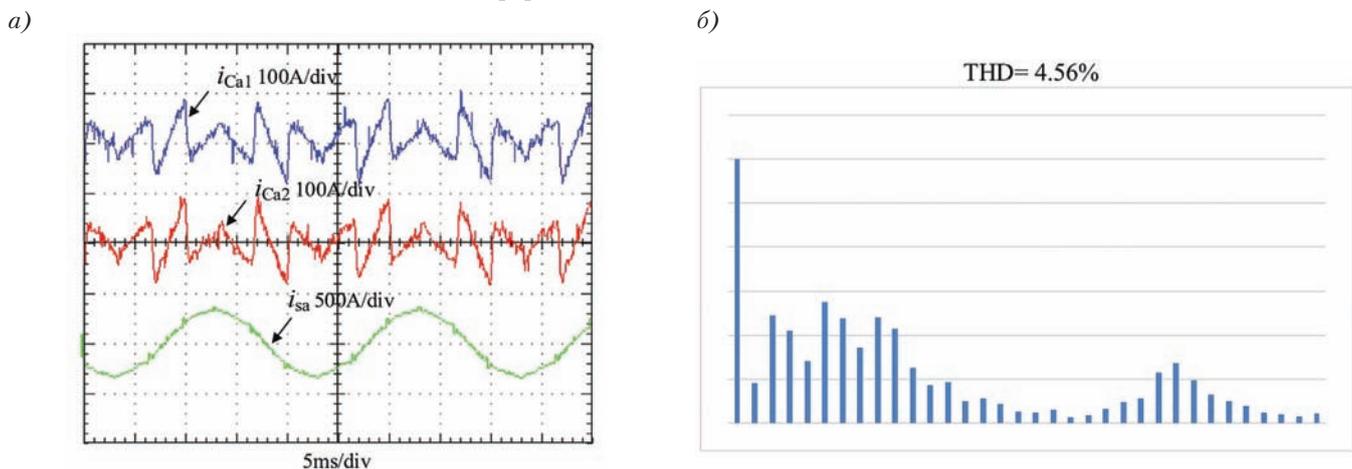


Рис. 3. Результаты экспериментов с активным демпфированием (а) и БПФ-анализ сетевого тока с активным демпфированием (б)

i_{Ca1} , i_{Ca2} , i_{Ca3} – токи исследуемой станции

поля – экспериментальный усовершенствованный сверхпроводящий токамак (ЭУСТ). Во время работы экспериментального устройства ядерного синтеза ЭУСТ низкочастотный гармонический ток с высокой амплитудой дополнительно резонансно усиливался емкостным импедансом в системе питания полоидального поля, что ставит под угрозу его надежную работу и энергосистему. В этой статье предлагается схема низкочастотного гармонического резонанса для подавления низкочастотных гармоник, генерируемых источником питания полоидального поля ЭУСТ (рис. 4). Подавитель низкочастотного резонанса (ПНР) на основе гибридного активного фильтра может эффективно сдерживать гармонический ток низкого порядка и его резонансное усиление. Анализируется принцип подавления низкочастотных гармоник ПНР и устанавливается уравнение управления ПНР. Однако стратегия активного демпфирования предназначена для управления резонансным пиком фильтра LCL и повышения общей стабильности ПНР. Результаты свидетельствуют о корректности теоретического анализа и предоставляют технические рекомендации

по подавлению низкочастотных гармоник в других устройствах токамак.

В данной работе предлагается новый тип гибридной схемы с функцией подавления резонансов для решения проблемы гармоник низкого порядка при работе системы питания полоидального поля ЭУСТ [4]. Он может эффективно подавлять низкочастотные гармоники и усиливать резонанс на шине 10 кВ, а также улучшать качество электроэнергии системы электропитания ЭУСТ. Далее

устанавливается уравнение управления новой гибридной схемы и выясняется влияние различных параметров системы на ПНФ [5]. Что касается проблемы собственного резонансного пика выходного фильтра в активной части ПНФ, предлагается активная схема демпфирования (рис. 5), основанная на пропорциональной обратной связи, которая эффективно контролирует резонанс LCL-фильтра и ослабляет резонанс без увеличения размера устройства, а также

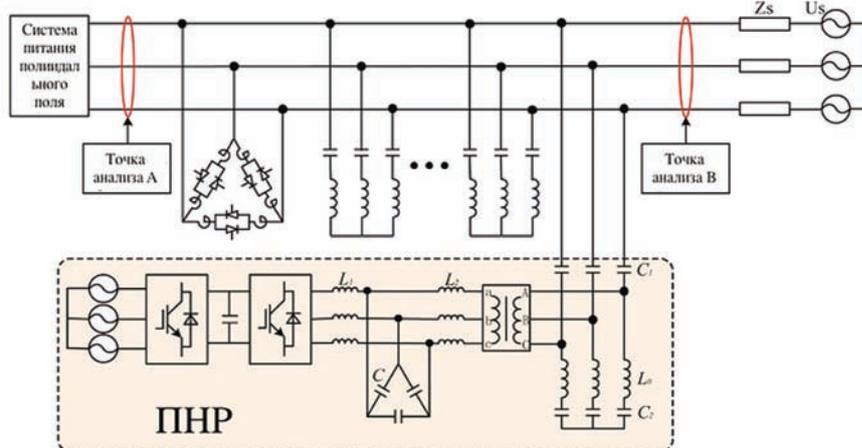


Рис. 4. Топология устройства подавления низкочастотного резонанса

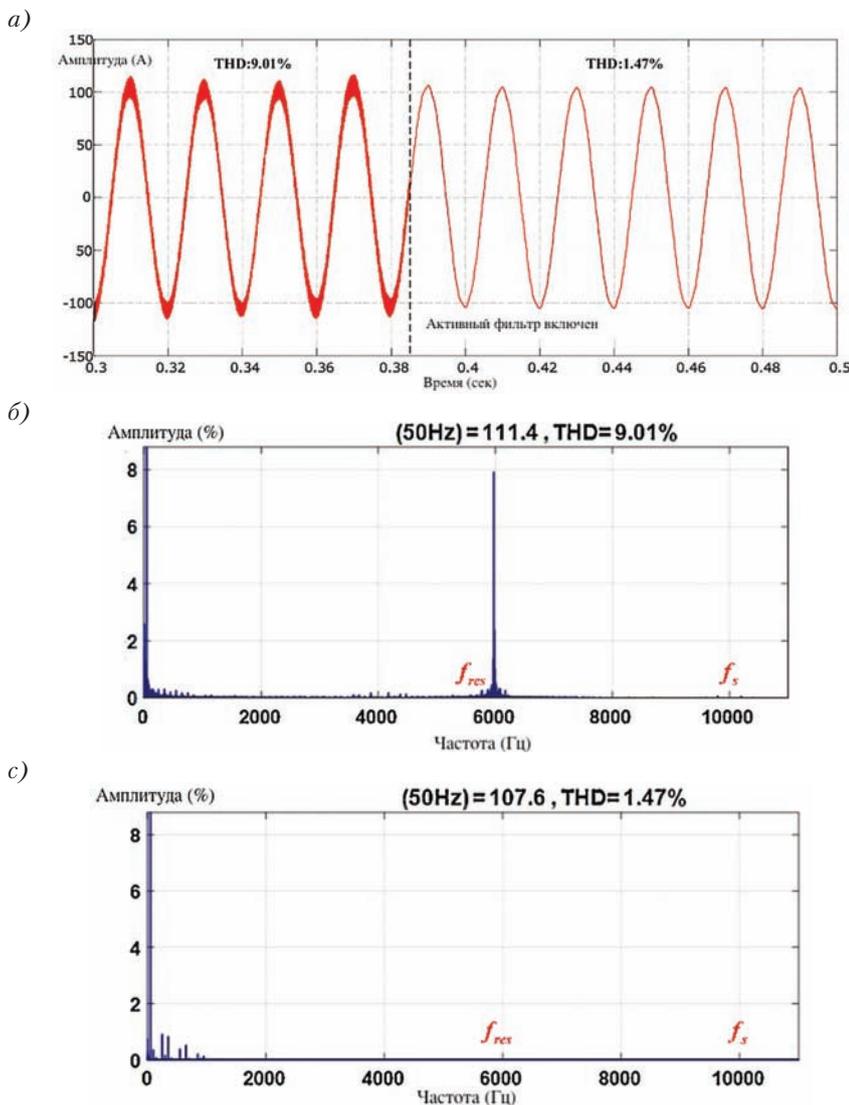


Рис. 5. Форма волны выходного тока и анализ БПФ (а) с активным демпфированием или без него, форма выходного тока; БПФ-анализ выходного тока без активного демпфирования (б) и с активным демпфированием (с)

дополнительное энергопотребление. Результаты моделирования подтверждают правильность приведенного выше теоретического анализа и предоставляют теоретические рекомендации и технические рекомендации для устройств токамак, таких как ЭУСТ [6].

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ

В работе [7] рассматривается полезность добавления функции фильтра активной мощности к инвертору. В настоящее время количество установок солнечной энергии как источника энергии значительно увеличивается. Подключение к сети этих установок обычно вводит всю мощность. Та же самая система впрыска мощности может использоваться для достижения единичного коэффициента мощности, если в нее встроена функция активного фильтра. В этой статье рассматривается фильтр активной мощности (ФАМ), который может управлять как точкой максимальной мощности (ТММ) фотоэлектрической системы PV, так и коэффициентом мощности нелинейной нагрузки, подключенной к сети с использованием трехфазного источника постоянного/переменного тока (рис. 6). Возмущение – наблюдение (P&O) – это применяемый алгоритм поиска заряженной системы (АЗС). При использовании АЗС не требуется точного знания параметров модели, так как обеспечиваются высокая точность против немодулированной динамики, нечувствительность к изменениям параметров и качественное подавление внешних возмущений. Широтная мо-

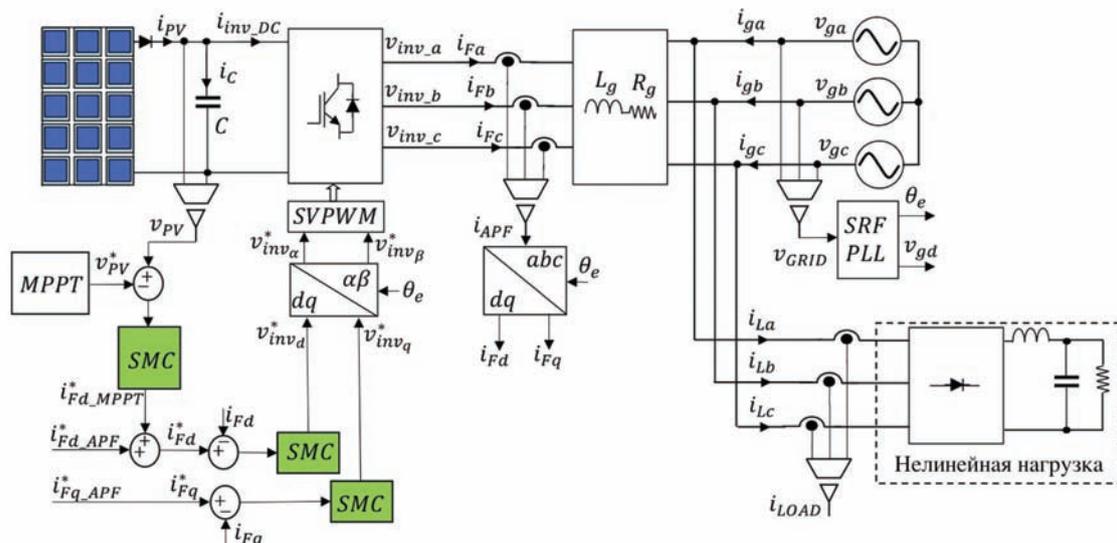


Рис. 6. Топология фильтра активной мощности, гарантированные сигналы и контроллеры АЗС
 a, b – прямая и квадратурная оси, выраженные в стационарных системе отсчета; d, q – прямая и квадратурная оси, выраженные в синхронных вращающаяся система отсчета; L_g – индуктивность сетевого фильтра; R_g – сопротивление сетевого фильтра; θ_e – угол вектора напряжения сети; ω_e – частота сетевого напряжения; i_g – сетевой ток; i_{pv} – ток солнечной панели; V_{pv} – напряжение солнечной панели; V_{inv} – основная гармоника напряжения инвертора постоянного/переменного тока; P – активная мощность; Q – реактивная мощность; f_{PWM} – частота коммутации инвертора; V_{oc} – напряжение холостого хода; I_{sc} – ток короткого замыкания

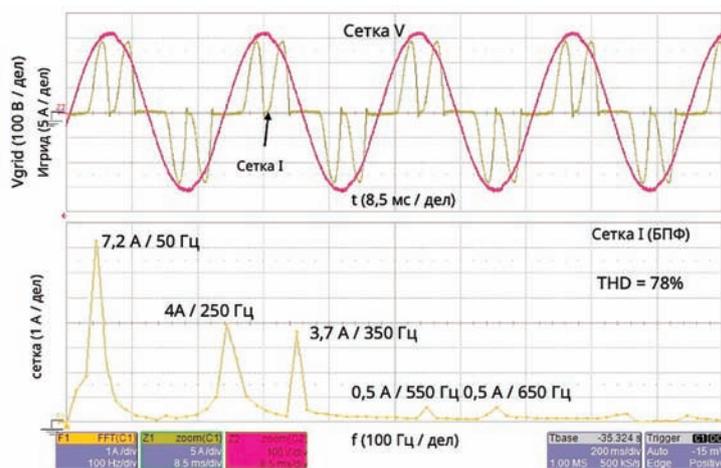


Рис. 7. Напряжение и ток фазы сети при отключенном активном фильтре. Гармоники сетевого тока

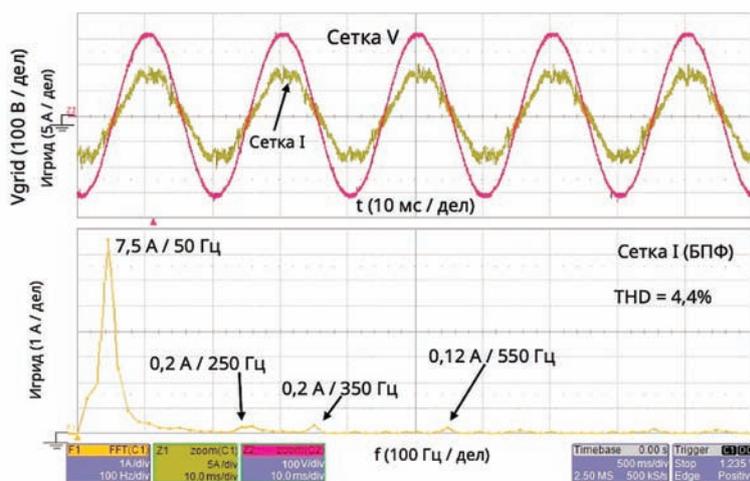


Рис. 8. Напряжение и ток фазы сети при подключении активного фильтра. Гармоники сетевого тока

дуляция пространственно-векторным импульсом из семи и пяти сегментов реализована для проверки эффективности и пульсаций тока сети. Было проведено несколько экспериментальных испытаний в различных условиях, в результате чего был сделан вывод, что представленная система обеспечивает эффективное отслеживание максимальной мощности и качественные характеристики фильтра мощности (рис. 7, рис. 8).

Функция фильтра активной мощности добавляется к инвертору, используемому в управлении PV. Спроектированные контуры управления для напряжения шины постоянного тока выполнены с помощью регуляторов скользящего режима. Эти контроллеры сначала были настроены с помощью нескольких симуляций, а затем отретушированы в реальной системе. Устойчивость системы микроконтроллера демонстрируется с помощью известной теории Ляпунова. Используемый метод представляет собой метод возмущения и наблюдения с модификацией измерения мощности на стороне переменного тока инвертора,

чтобы избежать использования датчика тока на стороне постоянного тока [8].

Качественные статические и динамические характеристики точки максимальной мощности, а также характеристики активного фильтра были продемонстрированы экспериментально. Также была проверена устойчивость системы к помехам, таким, как шум при измерениях и индуктивность сети. Кроме того, эффективность системы и текущее качество показаны для двух типов модуляции – семисегментной и пятисегментной векторной модуляции.

Можно сделать вывод, что представленная система эффективно отслеживает максимальную мощность и хорошую характеристику фильтра мощности с представленными контроллерами скользящего режима.

ВЫВОД

В статье рассмотрена работа нескольких типов активных фильтров и их систем управления. Были получены экспериментальные результаты, подтверждающие ее целесообразность

и полезность. Сделан вывод о том, что активный фильтр, работающий по компенсационному принципу, представляет оптимальное решение в рамках судового оборудования. Была проанализирована работоспособность фильтра при различных типах нагрузки и доказана полезность использования активной фильтрации в рамках судовых частотных преобразователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tingting G., Yanqiang L., Dongdong C., Long X. A novel active damping control based on grid-side current feedback for LCL-filter active power filter. – International Conference on Power and Energy Systems Engineering, 2020 7th. – p.1319–1324. – doi: 10.1016/j.egy.2020.11.027
2. Gabe I.J. Montagner Vinícius Foletto, Pinheiro H. Design and implementation of a robust current controller for VSI connected to the grid through an LCL filter//IEEE Trans Power Electron. – 2009. – № 24 (6). – P.1444–52.
3. Xianshun S., Ge., G. Yanan W. Improvement of power quality in EAST power supply system based on hybrid active filter//Fusion Engineering and Design. – 2020. – № 161. – P.1–9. – doi: 10.1016/j.fusengdes.112076.
4. Wan B. N., Xu G. S. Experimental advanced superconducting Tokamak (in Chinese)//Chin. Sci. Bull. – 2015. – № 60 (23). – P.2157–2168. – https://doi.org/10.1360/N972014–01235.
5. Cortajarena J.A., Barambones O. Electrical Power and Energy Systems 110 Sliding mode control of an active power filter with photovoltaic maximum power tracking//Electrical Power and Energy Systems. – 2019. – № 110. – P.747–758. – doi: 10.1016/j.ijepes.2019.03.070
6. Montero M., Cadaval E., Gonzalez F. Comparison of control strategies for shunt active power filters in three-phase four-wire systems//IEEE Trans Power Electron. – 2007. – № 22 (1). – P.229–36.
7. Temurtaş H. The estimation of low and high-pass active filter parameters with opposite charged system search algorithm Expert Systems with Applications. – 2020. – № 1. – P. 155, 1–12. –doi:10.1016/j.eswa.13474.
8. Ergezer M., Simon D., Du D. Oppositional biogeography-based optimization.//Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2009, p.1009–1014.
9. Соболев А. С., Выигра А. В., Черный С. Г. Разработка имитационной модели активного фильтра для морских интеллектуальных транспортных систем//Вестник Астраханского государственного технического университета. – Серия: Морская техника и технология. – 2021. – № 2. – С. 90–98.
10. Черный С. Г. Параметрическая идентификация компонентов интеллектуальных систем на платформе современных микроконтроллеров//Научно-техническая информация. – Сер. 2: Информационные процессы и системы. – 2021. – № 7. – С. 19–24. ■

В 2003 г. Международной морской организацией (ИМО) была принята Резолюция МЕРС-107 (49), в которой определены требования по предотвращению загрязнения с судов. Комитет по защите морской среды на своей 49-й сессии принял пересмотренные руководство и технические требования к оборудованию для предотвращения загрязнения из льял машинных помещений судов. Приложение I относится ко всем судам, на которые распространяется МАРПОЛ. Сброс нефти строго запрещен в одних районах и серьезно ограничен в ряде других. На судах требуется иметь оборудование, сепарирующее льяльные нефтесодержащие воды в соответствии со стандартами ИМО, а также ведущийся надлежащим образом журнал нефтяных операций [1].

Сепаратор льяльных вод должен обрабатывать любые нефтесодержащие смеси из машинных помещений судов и эффективно очищать всевозможные сорта нефтепродуктов, используемых на судах, в том числе нефть очень высокой относительной плотности или смеси, являющиеся эмульсиями. Причиной эмульгирования льяльных вод могут быть моющие средства, растворители или поверхностно-активные вещества (ПАВ), используемые для очистки.

ООО «Винета» – разработчик и производитель сепараторов нефтесодержащих льяльных вод, который, основываясь на опыте эксплуатации сепараторов, поставляемых на корабли и суда, постоянно модернизирует и совершенствует используемые технологии очистки. Это было достигнуто благодаря проведению серии экспериментов на специально разработанном испытательном стенде, представленном на рис. 1, моделирующем процесс работы первой



Рис. 1. Испытательный стенд с коалесцентным материалом

ИССЛЕДОВАНИЕ КОАЛЕСЦИРУЮЩИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В СОСТАВЕ СЕПАРАТОРА ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД СЛВ-5

*М.А. Баранов, инженер-конструктор 2-й категории,
М.Ю. Хохлов, руководитель бюро расчетов,
ООО «Винета»,
контакт. тел. +7 (931) 378 7079, +7 (999) 202 5373*

ступени сепаратора, а также с помощью современных программ моделирования процессов в среде ANSYS.

Данное исследование проводилось с тремя испытательными жидкостями согласно Резолюции МЕРС. 107 (49) «А», «В» и «С». Жидкость «А» – это судовое остаточное жидкое топливо в соответствии с ISO 8217 типа RMG 35 (плотность при 15°C – не менее 980 кг/м³), жидкость «В» – судовое дистиллятное жидкое топливо в соответствии с ISO 8217 типа DMA (плотность при 15°C – не менее 830 кг/м³), жидкость «С» – это смесь эмульсии нефти в пресной воде в соотношении: 947,8 г пресной воды; 25,0 г испытательной жидкости «А»; 25,0 г испытательной жидкости «В»; 0,5 г ПАВ (натриевая соль додецилбензолевой сульфокислоты) в сухой форме; 1,7 г «окисей железа» (термин «окиси железа» используется для обозначения черной закиси-окиси железа (Fe₃O₄) в 1 кг смеси – с таким распределением частиц, при котором 90% имеют размеры менее 10 микрон, а оставшаяся часть имеет максимальные размеры частиц 100 микрон) [1].

Данная технология используется на первой стадии работы установки и действует по принципу коалесценции. В процессе испытаний был подобран материал, способный собирать на своей поверхности капли жидкости при соприкосновении, что приводит к уменьшению свободной энергии системы. Также данный процесс сопровождается уменьшением степени дисперсности эмульсий, пен, вплоть до расслоения дисперсной фазы на две части: жидкость – жидкость. Это явление происходит в результате прорыва пленок подвижной среды, разделяющих частицы жидкости. Наличие в системе ПАВ – стабилизаторов – препятствует коалесценции вследствие образования адсорбционно-сольватных защитных слоев на поверхности капель жидкости. Процесс работы коалесцирующего материала представлен на рис. 2.

Попадая на коалесцер, капли



Рис. 2. Процесс работы коалесцирующего материала

нефтепродукта, благодаря олеофильным гидрофобным свойствам материала, скапливаются на его поверхности, объединяются в более крупные капли и под действием выталкивающей силы за счет меньшей плотности нефтепродукта начинают всплывать и собираться в верхней части колбы. При этом отсепарированная вода проходит через коалесцер, не задерживаясь. Дальнейшая сепарация жидкости от остаточных веществ происходит на второй и третьей ступенях очистки установки.

Для расчета и масштабирования пропускных свойств коалесцентного материала был применен принцип, исследованный Гремом В. В. Джексонном и Дэвидом Ф. Джеймсом в 1986 г. Большинство пористых сред являются зернистыми, но некоторые состоят из очень длинных частиц и поэтому могут быть описаны как волокнистые. Составляющие волокна могут быть прямыми или кривыми, искусственными или природными, с произвольной ориентацией или правильно расположенными, но вне зависимости от природы волокон интерес представ-

ляют те, которые являются достаточно длинными для того, чтобы соотношение сторон не являлось параметром. В этом случае размер волокна рассматривается как одиночный поперечный размер [2]. Проницаемость волокнистой среды зависит от размера, концентрации и расположения волокон. Предполагается, что волокна имеют круглое или приблизительно круглое сечение и одинаковый диаметр, при этом логической размерной величиной является диаметр или радиус a . Для того чтобы охарактеризовать концентрацию волокон, выбрана объемная фракция твердого материала ϕ . Другим очевидным вариантом представления плотности является пористость ϵ , или $(1 - \phi)$, но ϕ изменяется по нескольким порядкам величины, тогда как ϵ остается около единицы, поэтому ϕ будет более полезным параметром. Получается, что соотношение проницаемости k , радиуса a и фракции ϕ в безразмерном виде можно представить как

$$\frac{k}{a^2} = f(\phi) \cdot [2].$$

Данная формула будет использована для того, чтобы выразить теоретические и экспериментальные результаты.

Поток рассматривается как перпендикулярный по отношению к коалесценру. Представленные решения основаны на использовании «элементарной ячейки», дополненной теорией «скопления». Хэппел [3] представил первое решение для потока, находящегося под углом к расположению исследуемого материала, используя круглую элементарную ячейку и применив нулевое напряжение сдвига на периметре. Его результат, используя наши параметры, можно записать в виде [2]

$$k/a^2 = 1/8 \phi [-\ln \phi + ((\phi^2 - 1)/(\phi^2 + 1))].$$

Сравнение экспериментальных данных и данных, полученных с использованием различных расчетных моделей, представлено на рис. 3.

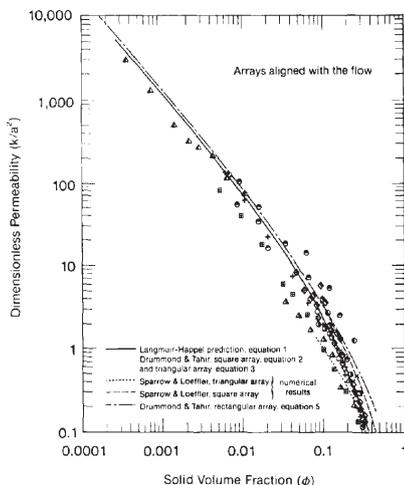


Рис. 3. Зависимость проницаемости от пористости

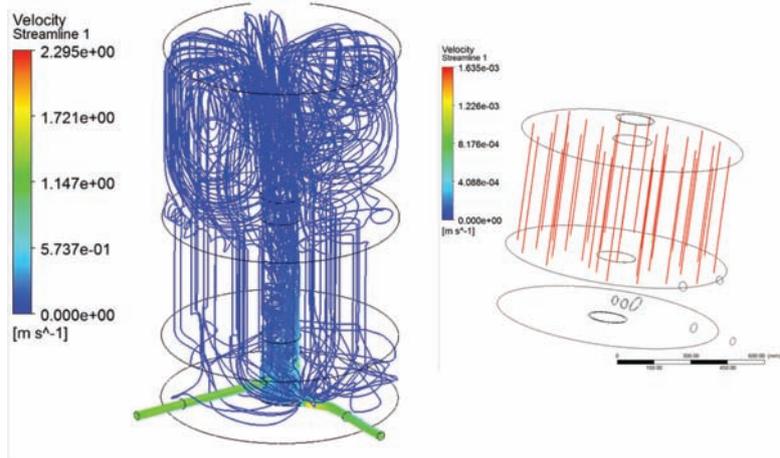


Рис. 4. Линии тока

Основываясь на полученных данных, была создана расчетная модель в среде Ansys. Коалесцентный блок моделировался как пористая среда с параметрами, определенными по зависимостям, приведенным выше.

На рис. 4 приведены линии тока в корпусе и коалесцентном блоке.

Как видно из рис. 4, геометрия корпуса, а также свойства и толщина коа-

лом этапе separации нефтесодержащих льяльных вод и который значительно повышает ее эффективность, что позволяет уменьшить габариты будущей установки. Проведя эксперимент на скорости жидкости 200 л/ч и проведя масштабирование, был спроектирован концепт сепаратора нефтесодержащих льяльных вод пропускной способностью 5 м³/ч (рис. 5).



Рис. 5. Концепт установки очистки нефтесодержащих льяльных вод СНЛВ-5 с пропускной способностью 5 м³/ч

лентного блока обеспечивают равномерное распределение сепарируемой среды по всей поверхности.

В результате была построена модель распределения жидкости по корпусу и рассчитано гидравлическое сопротивление корпуса в сборе, которое составило 0,08 МПа.

Данное исследование позволило выбрать коалесцирующий материал, который следует использовать на пер-

ЛИТЕРАТУРА

1. Резолюция МЕРС.107 (49). Пересмотренные руководство и технические требования по оборудованию для предотвращения загрязнения из льял машинных помещений судов.
2. Jackson Graham W. and James David F. The Permeability of fibrous porous media/Ontario M5S 1A4/1986.
3. Happel J. Viscous Flow Relative to Arrays of Cylinders//AIChE J, 1959.–№5.–P 174–177. ■

Суда с динамическим позиционированием (ДП) все более востребованы на внутреннем и мировом рынках. Для удержания судна на точке требуется совместная работа большого количества оборудования в составе пропульсивного комплекса.

Описанный ниже пропульсивный комплекс может применяться на судах различных типов с похожими характеристиками, например на научно-исследовательском судне, показанном на рис. 1.

На судах с ДП, как правило, применяется электрическая пропульсивная установка.

Характеристики пропульсивного комплекса

Установленная мощность

ГДГ.....4×1800 кВт каждый

Двигатели:.....2×2200 кВт

Азимутальные винторулевые колонки..... (ВРК)

Носовые туннельные подруливающие устройства (ТПУ):.....2×1000 кВт

Применение схемы с электродвижением позволяет получить следующие преимущества:

1. Гибкость планировки машинного отделения и экономия места.
2. Разделение судовой и пропульсивной нагрузок.
3. Повышенное резервирование силовой установки.
4. Экономичная работа при частичной нагрузке.
5. Низкий уровень шума и вибрации.
6. Снижение вредных выбросов.
7. Более высокий КПД (90%).
8. Эффективность работы в ледовых условиях.

Российский морской регистр судостроительства определяет ДП как комплекс, предназначенный для автоматического и автоматизированного управления пропульсивными механизмами судна с целью динамического удержания его над точкой позиционирования с заданной точностью.

Классификационное общество DNV GL разделяет ДП на следующие классы:

Дупрос 1 – допускается потеря положения над точкой позиционирования при единичном отказе в системе.

Дупрос 2 – обеспечивает удержание судна над точкой позиционирования при единичном отказе одного любого активного элемента системы (техпроцесс при этом может быть остановлен).

Дупрос 3 – обеспечивает удержание судна над точкой позиционирования в следующих случаях:

- при единичном отказе любого активного и пассивного элемента системы;
- при отказе активных и пассивных элементов системы, находящихся в любом одном из водонепроницаемых отсеков при затоплении;

СОПРЯЖЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ И СИСТЕМ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО СУДНА

П.Г. Федоров, канд. техн. наук, директор департамента проектно-конструкторских работ и новых разработок,

Е.В. Пименов, зам. начальника отдела систем автоматизации, гл. конструктор КСУ ТС, АО «МНС»,
контакт. тел. (812) 320 3840



Рис. 1. Научно-исследовательское судно

– при отказе активных и пассивных элементов системы в любом одном из противопожарных отсеков в результате пожара).
Знак Dupros-2 в символе класса требует обеспечения устойчивости к единичному отказу следующих систем и оборудования:

1. Система динамического позиционирования.
2. Главное распределительное устройство (ГРУ).
3. Главный распределительный щит (ГРЩ).
4. Система управления электроэнергетической установкой (СУ ЭЭУ).
5. Система управления движением (СУД) – рукоятки, кнопки, винторулевые колонки (ВРК), туннельные подруливающие устройства (ТПУ).
6. Система управления гребной установкой (СУ ГУ) – это контроллер с функцией горячего резервирования, выполняющий функции, описанные ниже.
7. Комплексная система управления техническими средствами (КСУ ТС), обеспечивающая дистанционное и автоматическое управление вспомогательными механизмами главных дизель-генераторов (ГДГ) и СУ ЭЭУ.
8. Топливная система, система смазки и гидравлики, охлаждения.

Проектирование судна с ДП требует от разработчика комплексной системы управления техническими средствами (далее – КСУ ТС) активного участия в решении вопросов интеграции оборудования, входящего в пропульсивный комплекс.

При поставке пропульсивного комплекса одной компанией вопросов сопряжения его составных частей не возникает. В числе наиболее известных таких поставщиков – Kongsberg, Converteam, АВВ, НПЦ «СЭС».

АО «Морские навигационные системы» (далее – АО «МНС») разработало комплексный проект привязки и поставки оборудования для научно-исследовательского судна, включающий в себя:

- систему ДП;
- интегрированную мостиковую систему (ИМС);*
- комплект навигационного оборудования;
- КСУ ТС «Manager-300»;*
- систему видеонаблюдения; *
- систему авральной сигнализации; *
- систему пожарной сигнализации;

* Поставка по техническим условиям АО «МНС».

Завод-строитель приобрел для судна движители, СУД, ГРУ (включая систему СУ ЭЭУ), ЧП и ГРЩ 400 В у разных поставщиков, после чего поставил перед проектантом и компаниями задачу сопряжения оборудования между собой.

В результате длительной и настойчивой работы проектанта судна, сотрудников АО «МНС» и поставщиков компонентов пропульсивного комплекса были

разработаны требования к сопряжению оборудования и алгоритмы работы, подписаны более сотни протоколов сопряжения.

Структурная схема и взаимодействие элементов пропульсивного комплекса, созданного в результате данной работы, показана на рис. 2.

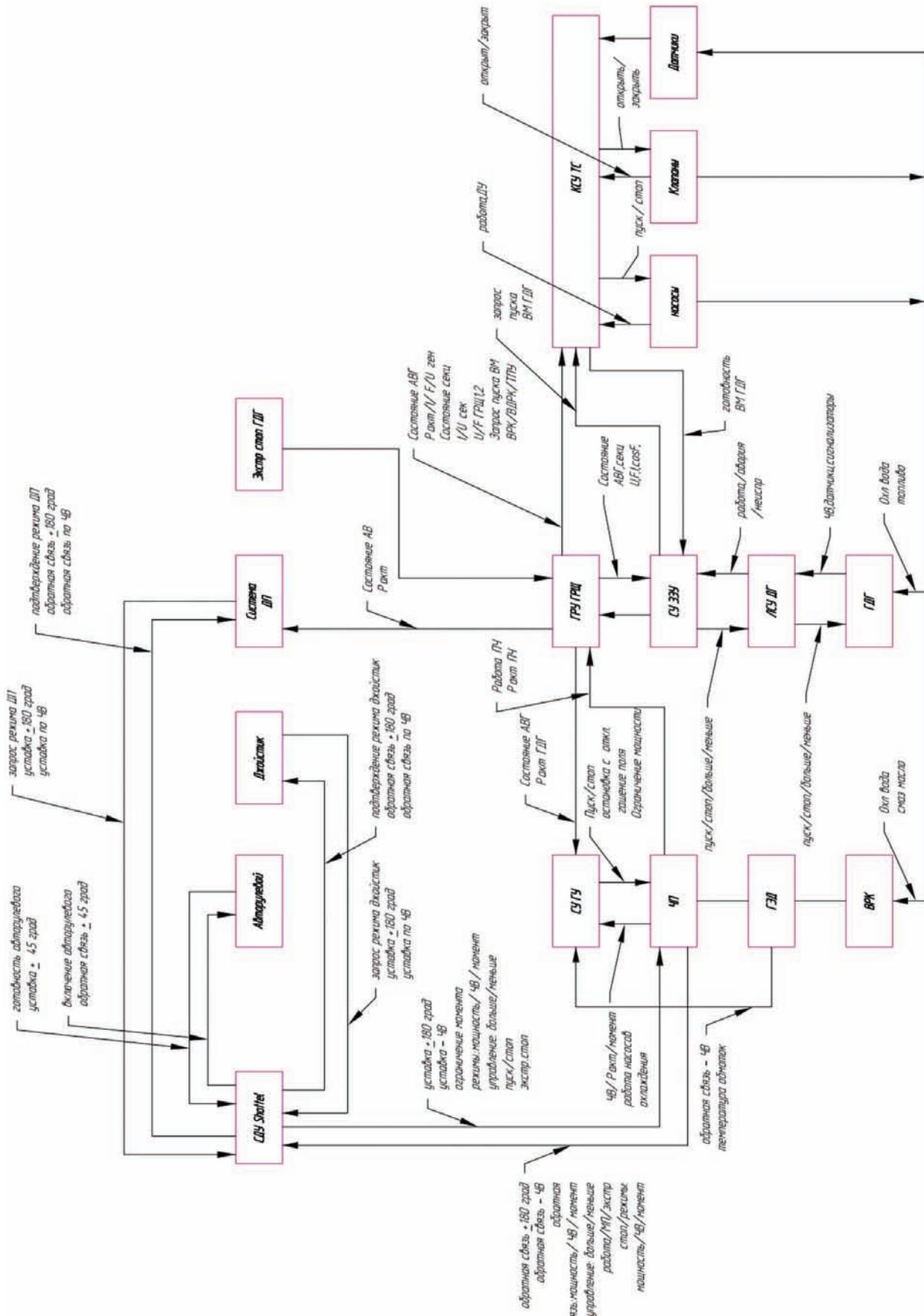


Рис. 2. Структурная схема пропульсивного комплекса и взаимодействия его составных частей

ОПИСАНИЕ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ПРОПУЛЬСИВНОГО КОМПЛЕКСА

СУД предназначена для дистанционного управления ВРК и ТПУ из следующих постов:

- центральная часть ИМС в рулевой рубке (РР);
- крылья мостика в РР;
- кормовой пульт управления в РР;
- ЦПУ;
- аварийные посты в помещениях ВРК.

Следящее дистанционное управление (с помощью рукояток) обеспечивается с постов в РР. Из ЦПУ и местных постов осуществляется неследящее управление кнопками «Больше»/«Меньше».

Система обеспечивает передачу управления между постами и выбор источника управления: управление от рукояток или джойстика, автопилот или ДП.

ГЛАВНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО И ЧАСТОТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Основным элементом пропульсивного комплекса являются ГРУ и ЧП.

В режиме ДП ГРУ и ГРЩ разделяются на две независимые электроэнергетические системы, обеспечивая удержание судна даже при коротком замыкании на шинах одной из них. СУ ЭЭУ входит в комплект поставки ГРЩ и ГРУ и обеспечивает ее работу в следующих автоматических режимах: ходовой; безопасный (для прохода узкостей, + 1 ГДГ); режим ДП; режим питания с берега; стояночный режим.

КСУ ТС и СУ ЭЭУ объединяются в отдельное кольцо Ethernet через оптические многомодовые кабели. КСУ ТС

обеспечивает следующее дистанционное управление с видеокадров:

- ручное – выключателями главного тока (без синхронизации);
- полуавтоматическое – выключателями главного тока (с синхронизацией и распределением нагрузок);
- выбор автоматического режима СУ ЭЭУ.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ГРЕБНОЙ УСТАНОВКОЙ (СУ ГУ)

СУ ГУ состоит из панелей управления, частотных преобразователей и двух контроллеров. Связь между контроллером и ЧП осуществляется по оптическому многомодовому кабелю.

СУ ГУ выполняет следующие функции:

- основные настройки параметров;
- пуск и останов системы;
- функции управления;
- блокировки;
- защиту (ограничения момента);
- защитные функции отключения;
- функции связи;
- функции АПС;
- ограничение мощности ЧП по запросу от СУ ЭЭУ.

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ «MANAGER-300»

В КСУ ТС резервируются: операторские станции, каналы связи, серверы, контроллеры.

Основные характеристики КСУ ТС рассматриваемого научно-исследовательского судна и состав

Основное питание (бортовая сеть)	380 В, 50 Гц
Резервное питание	220 В, 50 Гц

Входные дискретные каналы, шт. ...	1500
Выходные дискретные каналы, шт. ...	1000
Насосы и вентиляторы, шт.	55
Клапаны, шт.	98
Аналоговые входы 4 – 20 мА, шт.	120
Аналоговые входы типа РТ 100 или 100П, шт.	64
Количество коммуникационных интерфейсов, шт.:	

– RS-422 (NMEA)	6
– Ethernet (Modbus TCP)	12
– RS-485 (Modbus RTU)	10

Основные функции КСУ ТС:

- дистанционный контроль и управление следующими элементами: ДГ, СУ ЭЭУ, насосы, клапаны, вентиляторы, ГРУ, ГРЩ;
- запуск/останов механизмов при пуске ЧП;
- запуск/останов механизмов при пуске ГД.

В процессе проектирования специалисты АО «МНС» совместно с коллегами из других компаний и проектным бюро успешно решили и продолжают решать возникающие вопросы и приобрели новый опыт интеграции в единый комплекс как импортного, так и отечественного оборудования.

АО «МНС» готово сотрудничать с проектными организациями-заказчиками в работе над новыми проектами судов с динамическим позиционированием.

ЛИТЕРАТУРА

1. DNVGL-RP-E306/ Dynamic positioning vessel design philosophy guidelines.– 2015, July.
2. Marine insight.
3. Marine Technology Society DP Vessel Design Philosophy Guidelines, 2021, April. ■

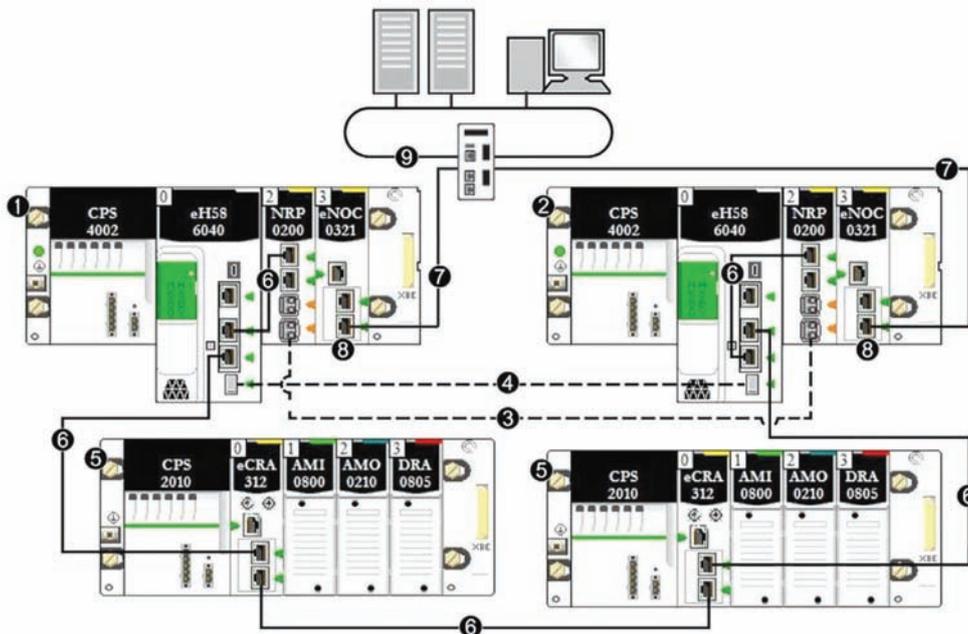


Рис. 3. Структурная схема КСУ ТС «Manager-300»

1 – основной программируемый логический контроллер (ПЛК); 2 – резервный ПЛК; 3 – преобразователь интерфейса из медного в оптоволоконный LAN кабель; 4 – канал связи для синхронизации контроллеров; 5 – шасси удаленного ввода/вывода; 6 – кольцо удаленного ввода/вывода; 7 – связь между операторскими станциями и ПЛК; 8 – модуль, обеспечивающий прозрачность сети RIO и сети операторских станций; 9 – кольцо операторских станций

Завод «Компрессор» работает на благо России уже 145 лет. Компрессорами предприятия оборудуют корабли военно-морского флота, научно-исследовательские суда, объекты ракетно-космического комплекса и стратегического назначения, атомные электростанции, компрессорные станции, транспортирующие газ, МЧС, железнодорожный транспорт, другие объекты, где к надежности оборудования предъявляются повышенные требования.

Как известно, завод, основанный в 1877 г. инженером В. С. Барановским, изобретателем первой в мире скорострельной пушки с упругим лафетом и унитарным патроном, стал родоначальником нашего объединения.

Продукция предприятия, начиная с пушечных гильз, дистанционных трубок (взрывателей), гранат, лафетов, чугунных и стальных снарядов, приборов снаряжения и разряжения артиллерийских патронов до гидравлических и механических прессов для переобжимки стреляных гильз различных калибров имела оборонное назначение.

Завод Барановского оставался вплоть до Великой Октябрьской революции единственным в России заводом, изготавливающим дистанционные трубки, которые по оценке артиллеристов, были лучшими по своей конструкции и качеству из всех систем. Для увеличения времени горения пороха требуется медленно горящий порох. В России такой порох не производился и закупался во Франции. Правление завода приняло в 1913 г. решение о создании нового отделения – порохового завода. К 1916 г. он уже изготовлял 80 000 пудов пороха. Руководил им революционер Л. Б. Красин.

Следующим этапом развития завода стало развертывание работы по выпуску

АО «КОМПРЕССОР» 145 ЛЕТ НЕ СДАЕТ ПЕРЕДОВЫХ ПОЗИЦИЙ В ОБЛАСТИ ПРОИЗВОДСТВА КОМПРЕССОРОВ ДЛЯ ВСЕХ ТИПОВ СУДОВ И КОРАБЛЕЙ

*Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор АО «Компрессор»,
Ю.Л. Кузнецов, канд. техн. наук, ген. конструктор
ООО «Компрессор Газ»,
контакт. тел. (812) 295 5090*

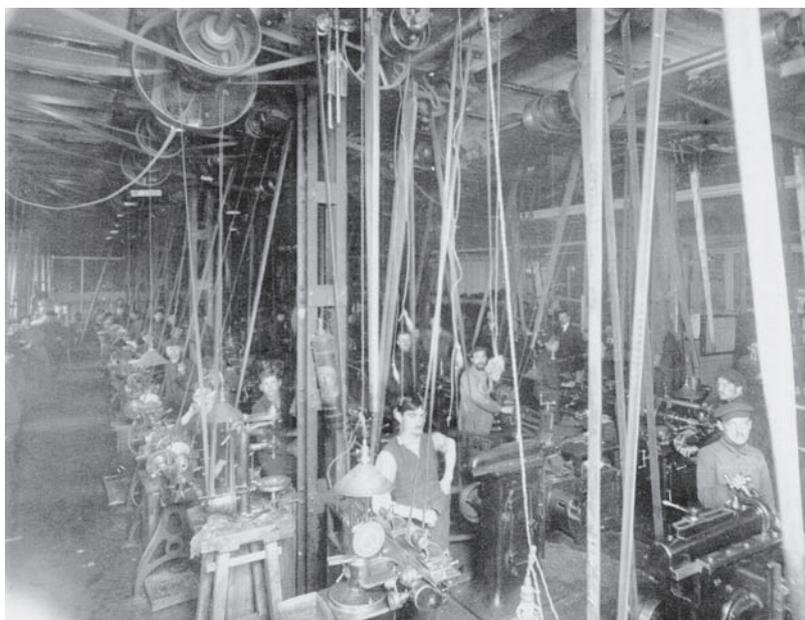


Фасад здания научно-производственного объединения «Компрессор»

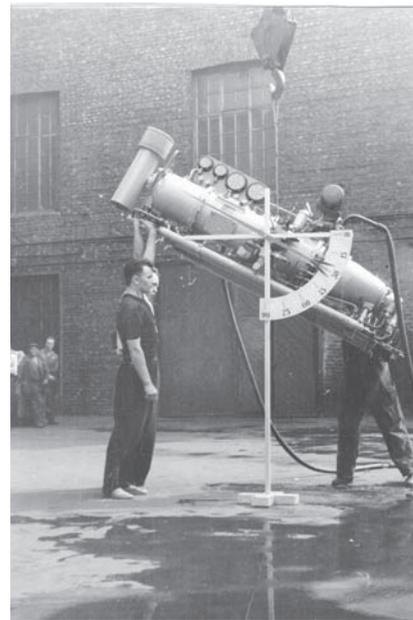
мирной продукции: авто- и авиасвечей, фарфоровых изоляторов высокого напряжения. В начале 1923 г. завод разрабатывает проект массового производства свечей для автомобилей системы И. В. Кузнецова, инженера-электрика технического бюро предприятия.

К разработке и созданию непосредственно компрессорного оборудо-

вания для подводных и надводных судов ВМФ предприятие приступило в 20-е гг. прошлого столетия. Это компрессоры первого поколения с паровым приводом (ПК-12, К-2) и электрокомпрессоры (К-6, К-7, К-12). Ими оснащались практически все корабли советской постройки, начиная с дизель-электрической подводной лодки «Якобинец» и кончая



Внутренний вид токарного цеха завода. 1916 г.



Испытание дизель-компрессора

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

крейсером «Киров» (1938 г.). Одновременно изготавливались торпедные аппараты для подводных лодок.

12 мая 1932 г. открывается новая страница в истории советского судового компрессоростроения – сдается флоту первый воздушный электрокомпрессор высокого давления (ВВД), изготовленный полностью из отечественных материалов. Первоначально он назывался минным компрессором. Это был двухступенчатый, вертикальный, двухцилиндровый, поршневой, простого действия, закрытого типа компрессор, приводимый в движение электродвигателем постоянного тока. Цилиндры смазывались мыльной эмульсией. Механизм движения смазывался маслом под давлением при помощи масляного насоса. Компрессор по своей конструкции относился к так называемому «мокрому» типу. Позднее ему был присвоен индекс К-6.

АО «Компрессор» уже более 100 лет разрабатывает и производит судовые компрессоры для сжатия воздуха, азота, кислорода, гелия, водорода, углекислого, природного и других газов, конструкция отработана до мелочей. Некоторые конструктивные решения, внедренные в наши разработки еще в 80-е гг. прошлого столетия, только сейчас реализуются в новейших разработках западных фирм.

Так как основное направление деятельности АО «Компрессор» – создание компрессорного оборудования для ВМФ России, потребителями продукции являются прежде всего предприятия, входящие в Объединенную судостроительную корпорацию, в частности все судостроительные заводы. По их мнению, предлагаемые АО «Компрессор» судовые и общепромышленные компрессоры по своим техническим характеристикам не уступают импортным, а по ряду параметров превосходят их.

Высокие ресурсные показатели, низкие эксплуатационные затраты, полная автоматизация, надежная работа в условиях крена и дифферента, сохранение работоспособности на различных режимах работы, определяемых параметрами состояния всасываемого газа («номинальном», «горячем», «наддуве», «разряжении» и их сочетаниях), в радиоактивной среде позволяют эксплуатировать изделия производство АО «Компрессор» в сейсмоопасных регионах, удаленных районах Крайнего Севера со сверхнизкими температурами и на экваторе.

Наше 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 оборудо-



Дожимающий компрессор для природного газа

ования, работающего под избыточным давлением, одобрено Российским морским регистром судоходства, Норвежским Веритас, Регистром Ллойда (Великобритания). Для атомных электростанций осуществляется поставка оборудования, отвечающего специальным требованиям атомной энергетики – 3-му классу качества. Серийное сертифицированное оборудование производства АО «Компрессор» дорабатывается под специальные требования потребителей, среди которых отметим предприятия, входящие в состав госкорпораций «Роскосмос», «Росатом», ПАО «Газпром».

Сейчас невозможно представить себе отрасль промышленности, которая бы не использовала компрессоры. Оборудование, обеспечивающее очистку, сжатие и хранение газов, применяется в судостроении, энергетике, машиностроении, горной и нефтяной промышленности, на транспорте и в медицине, ракетно-космической, пищевой и химической

отраслях. Словом, ни одна из сфер промышленности попросту немислима без компрессорных установок.

Более 100 патентов на изобретения и полезные модели получено специалистами нашего предприятия при разработке новых изделий. Созданы блок-контейнерные варианты исполнения, позволяющие эксплуатировать оборудование на открытых площадках при температуре воздуха от -60 до $+50$ °С, а также предусмотрена возможность устанавливаться на шасси для транспортировки на другой объект. Автоматизированные электрокомпрессорные станции, рассчитанные на воздух, водород и азот, удовлетворяют самым высоким требованиям, предъявляемым к виброшумовым характеристикам. Срок службы выпускаемого сегодня оборудования превышает 30 лет. Благодаря низким эксплуатационным расходам срок окупаемости компрессорной техники минимален.



Передвижная компрессорная установка низкого давления ПКС250



Мобильный компрессор для паров сжиженного природного газа (СПГ)



Азотная установка

Созданы маломагнитные варианты исполнения компрессоров.

Разработан блок осушки и очистки воздуха, не имеющий мировых аналогов, позволяющий очистить его от вредных химических компонентов (CO , CO_2 , различные углеводороды и др.), после чего он становится пригодным для дыхания. Компрессорные станции работают в этом случае при давлении 400 кгс/см^2 .

Для отработки навыков личного состава боевых подразделений разработаны и изготовлены тренажеры по управлению электрокомпрессорными станциями.

Конструкторским бюро предприятия проведена большая работа по созданию систем автоматического управления (САУ) для компрессоров, блоков осушки и другой техники на новой элементной базе. Серийное изготовление САУ осуществляется заводом АО «Компрессор», степень автоматизации оборудования определяется заказчиком. Возможности системы автоматики компрессора позволяют задавать основные рабочие параметры и контролировать их в автоматическом режиме, в частности обеспечивается полная защита компрессора от превышения допустимых значений давления, темпера-

туры, перегрузки, которое приводит к отключению его от электрической сети, тем самым предупреждая преждевременный выход из строя оборудования. Кроме того, САУ обеспечивает бесперебойную работу компрессора в условиях нестабильного напряжения, измеряет количество моточасов и информирует о необходимости проведения регламентных сервисных работ, обеспечивает автоматическую работу клапанов слива конденсата и автоматический старт/стоп компрессора по сигналу датчика конечного давления в ресивере. Специализированное управляющее устройство обеспечивает управление последовательностью работы нескольких компрессоров по различным схемам. Решена проблема приема и передачи на дистанционный пульт управления информации с датчиков и блоков управления.

АО «Компрессор» активно участвует в федеральных целевых программах по разработке конкурентоспособного компрессорного оборудования для оборонно-промышленного комплекса и гражданского флота, в частности, выполнены работы по теме «Разработка технологии создания ряда компрессоров нового поколения с электрическими приводами для судов и морских платформ».

Конструкторское бюро предприятия разрабатывает генератор водорода для авианосцев, лабораторий, производств нефтепереработки и других потребителей. Осваивается производство холодильных компрессоров и морозильных установок. Создано исполнение компрессора пускового воздуха для работы в арктических условиях на морской ледостойкой стационарной платформе «Приразломная».

Для атомных электростанций с учетом специальных требований, предъявляемых «Росатомом», разработаны блоки осушки с точкой росы -70°C . Создан и запущен в серию автоматизированный азотный компрессорный комплекс для эксплуатации на танкерах и газовозах. Налажен выпуск винтовых компрессоров на базе комплектующих различных производителей.

Серийно изготавливаются компрессоры для заправки баллонов воздухом, пригодным для дыхания, в соответствии с современными нормами.

На железнодорожном транспорте для обслуживания железнодорожных магистралей, пневматических систем торможения сортировочных станций и других пневматических устройств выпускаются блок-контейнерные воздушные компрессорные станции.

Для транспортировки и распределения природного газа создано оборудование, позволившее Газпрому заменить импортные аналоги: цеха подготовки импульсного и топливного газа, авто-

матизированные газораспределительные станции, блочные дожимные компрессорные станции газового нерастворителя для подземных хранилищ газа, блочные воздушные компрессорные станции, блоки фильтров топливного газа, дожимные компрессорные установки сухого сжатия. Все оборудование для нефтегазового сектора имеет необходимые разрешения на применение, декларации соответствия требованиям Таможенного союза, сертифицировано в системе добровольной сертификации «Газпромсерт».

Для решения экологических проблем крупных городов и экономии нефтяных ресурсов предприятием было освоено новое направление – производство газотопливных систем (ГТС) для перевода двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на сжатый природный газ. Например, создана автомобильная газонаполнительная компрессорная станция АГНКС БК-75 на 75 заправок в сутки. В настоящее время данное направление активно развивается. В связи с потребностью в увеличении заправок автомобилей газовым топливом разработали и приступили к выпуску АГНКС БК-125. Создана автомобильная газонаполнительная компрессорная станция производительностью 500 и 1000 $\text{м}^3/\text{ч}$.

Предприятие сотрудничает с Российским морским регистром судоходства, Ростехнадзором и другими сертифицирующими и лицензирующими организациями.

Продукция АО «Компрессор» эксплуатируется в различных регионах России и государствах СНГ, а также во многих странах дальнего зарубежья – Германии, Швеции, Норвегии, Финляндии,

Индии, Индонезии, Иране, КНР, Корея, Вьетнаме, Алжире, Египте, Ливии, на Кубе и др.

Продление срока эксплуатации и поддержание компрессоров в рабочем состоянии осуществляет Сервисная служба завода, имеющая как постоянно действующие центры в городах Санкт-Петербург, Мурманск, Северодвинск, Калининград, Владивосток, Крым, Астрахань, так и мобильную бригаду для выезда. Она оказывает весь спектр услуг производственного характера, инструктаж по эксплуатации оборудования и поставку запасных частей, в их числе:

- ремонт компрессорного оборудования любой сложности (текущий, средний, капитальный);
- замену устаревшего компрессорного оборудования на новое с обвязкой и пусконаладочными работами;
- диагностику и дефектацию оборудования;
- поставку ЗИП к компрессорному оборудованию;
- систем очистки воздуха, фильтров, осушителей, компрессоров для холодильников.

Сегодня завод постоянно инвестирует в улучшение производственных мощностей, не прекращает работу в условиях пандемии. АО «Компрессор» имеет современную производственную базу, уникальные испытательные стенды, позволяющие не только выпускать серийное оборудование, но и отработать новые конструктивные решения, идти в ногу со временем, откликаясь на новые требования, предъявляемые к продукции. Любая выпускаемая предприятием компрессорная установка или станция имеет несколько вариан-

тов исполнений (по параметрам питающей сети, системе охлаждения, системе виброизоляции, степени автоматизации и т. д.), что позволяет потребителю заказать именно то оборудование, которое требуется для его технологического процесса. Весь цикл по производству оборудования реализован на собственных производственных мощностях под надзором высококлассных технических специалистов. На предприятии внедрена система менеджмента качества, сертифицированная на соответствие ГОСТ РВ 015-002–2012. Получены лицензии Минпромторга, Роскосмоса, Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору на все виды деятельности.

Для расширения своих возможностей АО «Компрессор», основные производственные мощности которого расположены на Выборгской стороне Санкт-Петербурга, ведет строительство заводских корпусов в промзоне Парнас, где создается высокотехнологичное производство, которое будет базироваться не только на отработанных методах производства, но и на использовании новейших технологий с учетом современных достижений в профильных областях. Удобная транспортная доступность этого предприятия позволит начать на нем серийное производство крупногабаритных изделий.

Научно-производственное объединение «Компрессор» – многопрофильное предприятие энергетического машиностроения. В трудной конкурентной борьбе оно продолжает поддерживать свое положение как одного из основных поставщиков компрессорного оборудования в России. ■



Новая площадка АО «Компрессор»



О.В. САВЧЕНКО – 55 ЛЕТ

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812) 386 6709

Генеральный директор ФГУП «Крыловский государственный научный центр», известный ученый в области управления сложными системами и процессами Олег Владиславович Савченко 3 марта 2022 г. отметил свое 55-летие на трудовом посту.

О. В. Савченко приступил к работе в Крыловском государственном научном центре в октябре 2015 г. в должности заместителя директора ЦНИИ СЭТ. За период с октября 2015 г. до февраля 2020 г. под его руководством и активном участии впервые в мировой практике была разработана методология проектирования, производства и испытания систем электродвижения большой мощности.

О. В. Савченко руководил проектом по созданию и поставки систем электродвижения ледоколов ЛК60 пр. 22220 и других судов. Сегодня решения, реализованные на ледоколах «Арктика» и «Сибирь», уже подтвердили свою работоспособность и эффективность в труднейших условиях ледового плава-

ния, что позволило впервые в отечественной истории обеспечить круглогодичную навигацию по Северному морскому пути.

В феврале 2020 г. приказом Минпромторга О. В. Савченко в трудное для Научного центра время был назначен генеральным директором. Под руководством генерального директора в 2021 г. был разработан, согласован с Минпромторгом РФ и успешно реализуется комплексный План финансового оздоровления предприятия. Реализация плана позволило избежать банкротство предприятия и завершить 2021 г. с достаточной прибылью. Наряду с решением управленческих задач О. В. Савченко активно участвует в научных исследованиях. Он – автор более 60 научных трудов. Большая часть его теоретических разработок доведена до практических результатов и реализована в практике различных учреждений и предприятий промышленности. Только за последние три года им опубликованы пять статей, наиболее известными из них являются:

- «Взгляды Министерства обороны США на структуру, роль и предназначение Военно-морских сил в XXI веке». (Труды КГНЦ, 2021, № 2 (396)),
- «Краткий анализ зарубежного опыта организации закупок вооружения и военной техники» (Труды КГНЦ, 2021, № 4 (398)),
- «ВМФ – важнейший элемент мировой геополитики. Современное состояние и перспективы развития ВМС». (Пленарные доклады XXIV Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». (Изд. АО «НПО Спецматериалов», 2021 г.),

- «Комплексное компьютерное моделирование в обеспечении решения междисциплинарных проектирования и эксплуатации кораблей». (Доклады на шестой международной научно-практической конференции «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем» (ИКМ МТМТС–2021),
- «О роли отраслевых научных центров в подготовке программ в области судостроения и кораблестроения». (Изд. Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга, 22 июня 2021 г.). В 2019–2021 гг. О. В. Савченко выступил с докладами на темы «Перспективы отечественного судостроения и кораблестроения», «Проектирование и комплексные испытания ЭЭСК».

Кроме того, О. В. Савченко в 2021 г. опубликованы две монографии: «Прогрессивные испытания кораблей и судов» и «Компьютерное моделирование в исследованиях и разработках ФГУП «Крыловский государственный научный центр». В настоящее время он руководит созданием совершенных цифровых моделей пропульсивных установок перспективных судов и кораблей.

Коллектив Крыловского государственного научного центра поздравляет Олега Владиславовича с 55-летием и желает ему здоровья и дальнейших творческих успехов.

Редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают О. В. Савченко благополучия и новых научных достижений! ■



Классификация излучающих целей (ИЦ) на основе распознавания типов установленных на них РЛС относится к рангу задач распознавания образов и является одной из важнейших задач, возлагаемых на корабельные комплексы пассивной радиолокации (КПР). Эта задача решается с использованием каталогов, содержащих, в том числе, априорные данные о радиотехнических (РТ) параметрах сигналов известных типов РЛС и оснащенности ими носителей известных классов. Информацию о РЛС несет излученный ею радиолокационный сигнал, поэтому в рассматриваемой задаче признаками распознавания являются РТ параметры излучения РЛС.

В условиях современного радиолокационного поля создание средств автоматической обработки радиолокационной информации с гибкой структурой и наиболее полным использованием оперативных данных стало в настоящее время одним из основных путей повышения их эффективности.

Использование каталогов, содержащих априорные данные о РЛС и их носителях, не исключает начальной неопределенности условий, при которых предстоит решать задачу классификации ИЦ. Начальную неопределенность обусловили следующие факторы: большое количество записанных в каталоги типов РЛС и их носителей; большое многообразие режимов излучения (возможных комбинаций значений РТ параметров); пересечение диапазонов возможных значений РТ параметров РЛС; установка РЛС одного и того же типа на носителях разных классов.

Большое значение имеет уменьшение начальной неопределенности условий, осуществляемое до использования распознающей системы (РС) по основному назначению. Полезно определить конкретно сложившиеся условия, поскольку принято считать, что чем полнее информация до начала работы РС, тем выше эффективность ее применения.

Исследованию вопросов адаптации, обучения и самообучения РС для повышения достоверности принимаемых решений при классификации ИЦ посвящена предлагаемая статья. В соответствии с поставленной задачей приняты следующие этапы работы РС:

подготовительный – реализация режимов адаптации и обучения РС с учителем (по классифицированным выборкам);

основной – работа по основному назначению с режимом самообучения РС.

АДАПТАЦИЯ РАСПОЗНАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Под адаптацией РС будем понимать подготовку каталогов априорных данных к работе в заданном тактическом районе, а под априорными данными – данные, которые могут быть предварительно получены и заложены в систему обработки информации.

Массив априорных данных, используемых при классификации ИЦ, может содержать до нескольких тысяч эталонных РТ образов (РТО) РЛС различного назначения. При этом должна быть обеспечена возможность оперативного выделения из них до нескольких десятков РТО и их привязки к носителям для использования в заданном тактическом районе непосредственно при распознавании типов обнаруженных РЛС и классов их носителей.

Под i -м эталонным РТО РЛС j -го типа будем понимать i -ю возможную комбинацию значений РТ параметров (i -й режим излучения) этой РЛС. Тогда каталогизация РТО – наблюдение за РЛС известных типов с целью набора эталонных РТО для всех возможных режимов излучения этих РЛС. А распоз-

АДАПТАЦИЯ И ОБУЧЕНИЕ РАСПОЗНАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ БАЙЕСОВСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ИЗЛУЧАЮЩИХ ЦЕЛЕЙ

Г.А. Коржавин, д-р техн. наук, проф., науч. руководитель,

Ю.Ф. Подоплёкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, гл. специалист по НИОКР,

О.Г. Мальцев, д-р техн. наук, начальник НИЛ,

АО «Концерн «Гранит-Электрон»,

контакт. тел. (812) 271 4585, 271 6774

нание типа РЛС – наблюдение за РЛС неизвестного типа, сравнение ее РТО с набором эталонных РТО из каталогов и принятие решения о типе РЛС.

Чем больше число типов РЛС в каталогах, тем больше начальная неопределенность. Вероятность $P_{пр}$ правильного решения задачи распознавания РЛС всех типов зависит (в предположении достаточности количества исходных априорных данных и их достоверности) от размеров словаря признаков и алфавита типов. При заданном алфавите типов расширение словаря признаков приводит к увеличению $P_{пр}$, и наоборот. В свою очередь, при данном размере словаря признаков увеличение алфавита типов (числа типов РЛС в каталогах) приводит к уменьшению $P_{пр}$, и также наоборот.

Каталог априорных данных о корабельных РЛС (КРЛС) и их носителях и каталог априорных данных об авиационных РЛС (АРЛС) и их носителях имеют одинаковую структуру. Каталог априорных данных о береговых РЛС (БРЛС) и их носителях отличается от первых двух каталогов только тем, что априорные данные о носителях БРЛС представлены географическими координатами местоположения БРЛС и их государственной принадлежностью. Режим адаптации РС рассмотрим на примере подготовки к работе в заданном тактическом районе каталога априорных данных о КРЛС и их носителях – надводных целях (НЦ).

Априорные данные о типах КРЛС, значениях их РТ параметров, оснащенности КРЛС НЦ различных классов и стран, нахождении НЦ в различных регионах (театрах военных действий) и в составе корабельных группировок различных типов представляют собой предметную область (информационную базу) задачи классификации НЦ. Перечисленная информация может быть размещена в одной таблице. Однако основная проблема в этом случае будет состоять в том, что в таблице будет содержаться значительное количество повторяющейся информации.

Целесообразнее представить информационную базу в виде совокупности взаимосвязанных массивов данных, т. е. в виде базы данных (БД). В качестве модели выбрана реляционная БД, представляющая собой совокупность связанных между собой таблиц (отношений). Процесс уменьшения избыточности информации в БД называется нормализацией [1]. С использованием практических рекомендаций теории нормализации на основании информационной базы задачи классификации НЦ разработана реляционная БД, состоящая из восьми таблиц: РЕЖИМЫ, СТАНЦИИ, ВООРУЖЕНИЕ, КЛАССЫ, ГРУППИРОВКИ, НОСИТЕЛИ, СТРАНЫ и РЕГИОНЫ.

С целью повышения чувствительности общий диапазон частот приема сигналов РЛС разбит на несколько частотных поддиапазонов (частотных каналов приемного устройства КПР). Для сокращения объема просматриваемых записей при распознавании типов КРЛС в таблице РЕЖИМЫ все записи сгруппированы по блокам, в каждом из которых находятся записи, содержащие РТ параметры излучений, которые принадлежат одному частотному поддиапазону. Уточнение

информации о номере поддиапазона позволяет существенно сократить объем проверок принадлежности принятого сигнала к априорным типам КРЛС (эталонным РТО).

Для обеспечения возможности оператору подготовить каталог к работе с учетом оперативных данных и информации о контактах с НЦ в прошлом созданы меню РЕГИОНЫ, СТРАНЫ и НОСИТЕЛИ, таблица КОНТАКТЫ и соответствующий интерфейс «оператор – система».

В каждой конкретной ситуации, которая определена, когда поставлена боевая задача, оператор КПП должен сформировать рабочую БД, содержащую информацию только о тех КРЛС и их НЦ, которые с большой вероятностью могут быть обнаружены в заданном тактическом районе.

ОБУЧЕНИЕ РАСПОЗНАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ С УЧИТЕЛЕМ (ПО КЛАССИФИЦИРОВАННЫМ ВЫБОРКАМ)

Процедуру использования обучающих выборок (представительных выборок наблюдений отличительных признаков целей из каждого класса) обычно называют обучением РС с учителем.

В нашем распоряжении имеются рабочие БД. Используем их для обучения РС, которое будет состоять в расчете и запоминании априорных вероятностей типов РЛС (КРЛС, АРЛС, БРЛС) и классов носителей КРЛС и АРЛС, а также в построении и запоминании дискриминантных функций, под которыми будем понимать функции, выносящие классификационное решение относительно возможного вида РЛС по каждому РТ параметру.

Расчет априорных вероятностей. Используемые в байесовских алгоритмах классификации априорные вероятности приема сигналов от РЛС разных типов рассчитываются по информации об ожидаемом числе работающих РЛС соответствующих типов в зоне приема.

Введем обозначения: $P(N)$ – априорная вероятность приема сигналов от РЛС N -го типа; $p_{изл.}(N)$ – вероятность работы на излучении РЛС N -го типа; $p(N)$ – априорная вероятность РЛС N -го типа. Здесь $N = 1, 2, \dots, M$, где M – общее число типов КРЛС, АРЛС, БРЛС в единой системе нумерации типов; $p(N) = S_N / S_{\Sigma N}$, где S_N – число экземпляров РЛС N -го типа; $S_{\Sigma N}$ – общее число экземпляров РЛС всех типов. Тогда

$$P(N) = \frac{p_{изл.}(N)p(N)}{\sum_{N=1}^M p_{изл.}(N)p(N)}, \quad N = 1, 2, \dots, M. \quad (1)$$

Априорная вероятность наблюдения цели k -го класса K_k при условии установки на ней РЛС N -го типа рассчитывается следующим образом:

$$P(K_k | N) = S_k^{(N)} / \sum_{l=1}^q S_l^{(N)}, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad (2)$$

где $S_k^{(N)}$ – число экземпляров РЛС N -го типа, которые установлены на целях k -го класса K_k ; q – общее число классов носителей КРЛС и АРЛС в единой системе нумерации классов.

Основным назначением корабельного КПП является выработка данных по НЦ. В то же время принятый в КПП сигнал априорно может принадлежать одному из трех видов РЛС: КРЛС, АРЛС или БРЛС. Уменьшить начальную неопределенность относительно вида обнаруженной РЛС можно, используя построенные в режиме обучения дискриминантные функции. Но, прежде чем приступить к их построению, опишем методику оценки информативности (разделительных свойств) РТ параметров (признаков) применительно к распознаванию вида РЛС.

Оценка информативности РТ параметров. Воспользуемся методикой [2], основанной на использовании апостериорной плотности распределения признаков. Задачу для нашего случая можно сформулировать следующим образом: имеется алфавит классов (видов) K_k , $k = 1, 2, 3$ (соответственно, КРЛС, АРЛС, БРЛС); выбран словарь признаков z_ξ , $\xi = 1, 2, 3$ (соответственно несущая частота сигнала, период повторения им-

пульсов, длительность импульса); известны условные плотности $w_k(z_\xi)$ распределения признаков по каждому классу и априорные вероятности $P(K_k)$ появления классов. Требуется выполнить сравнительную оценку информативности признаков z_l и z_s , $l, s \in \{1, 2, 3\}$.

Информативность признака z_ξ может быть оценена по математическому ожиданию случайной величины ϵ , которая принимает значения $\epsilon = 1, 2, 3$ с вероятностями $p_{k\xi}$:

$$M_{z_\xi}[\epsilon] = \sum_{k=1}^3 k p_{k\xi}, \quad \xi = 1, 2, 3.$$

Поскольку $p_{k\xi}$ – вероятность получения при использовании признака z_ξ k -значного решения, то для рассматриваемого случая трех классов (видов):

– вероятность получения однозначного решения

$$p_{1\xi} = \sum_{k=1}^3 P(K_k) \int_{\Omega_k(z_\xi)} w_k(z_\xi) dz_\xi,$$

где $\Omega_k(z_\xi)$ – область значений признака z_ξ , принадлежащих РЛС только одного k -го вида;

– вероятность получения двузначного решения

$$p_{2\xi} = \sum_{k=1}^3 \left[P(K_k) \sum_{v=1}^2 \int_{\Omega_{k,v}(z_\xi)} w_k(z_\xi) dz_\xi \right],$$

где $\Omega_{k,v}(z_\xi)$ – область значений признака z_ξ , принадлежащих РЛС двух видов (k -го и k_v -го), допустимые комбинации: (1-го и 2-го), (1-го и 3-го), (2-го и 3-го);

– вероятность получения трехзначного решения

$$p_{3\xi} = \sum_{k=1}^3 P(K_k) \int_{\Omega_{1,2,3}(z_\xi)} w_k(z_\xi) dz_\xi,$$

где $\Omega_{1,2,3}(z_\xi)$ – область значений признака z_ξ , принадлежащих РЛС всех трех видов.

Если $M_{z_l}[\epsilon] > M_{z_s}[\epsilon]$, то признак z_s обладает лучшими разделительными свойствами, чем признак z_l .

Исследование статистических характеристик РТ параметров РЛС из рабочих БД включало в себя получение их гистограмм (плотностей эмпирического распределения вероятностей параметров) и проведение сравнительной оценки их разделительных свойств по эффективности распознавания вида РЛС.

Следующим шагом использования обучающих выборок является построение дискриминантных функций, которое может быть выполнено на основе совместного анализа полученных гистограмм.

Построение дискриминантных функций. Обнаруженный сигнал может принадлежать нескольким эталонным РТО РЛС разных видов. И как показывает анализ, вычислительная процедура байесовской классификации целей может быть значительно сокращена, если предварительно будет установлена принадлежность обнаруженного сигнала к РЛС только одного вида (или двух видов).

Введем классы возможной классификации вида РЛС: «корабельные РЛС» (К), «авиационные РЛС» (А), «береговые РЛС» (Б), «корабельные или авиационные РЛС» (КА), «корабельные или береговые РЛС» (КБ), «авиационные или береговые РЛС» (АБ), «или корабельные, или авиационные, или береговые РЛС» (КАБ). Определим также на множествах значений РТ параметров функции $D_f(f_n)$, $D_T(T_n)$ и $D_\tau(\tau_n)$, выносящие классификационное решение относительно введенных классов по несущей частоте сигнала, периоду повторения импульсов и длительности импульса соответственно (дискриминантные функции). Перечисленным классам соответствуют значения 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 этих функций. Причем значения 1, 2, 3 устанавливаются принадлежность сигнала к РЛС только одного вида, значения 4, 5, 6 – к РЛС двух видов, а значение 7 – к РЛС любого вида (соответственно однозначная,

двухзначная и трехзначная классификация вида РЛС). В диапазонах возможных значений РТ параметров РЛС всех трех видов введенным семи классам соответствуют определенные участки, на границах $z_{\text{гпр}}$, которых значения соответствующих дискриминантных функций меняются.

Построение дискриминантных функций на основе совместного анализа полученных ранее гистограмм означает, что используются номинальные значения РТ параметров РЛС. Однако классификация производится не по номинальным, а по измеренным значениям этих параметров. Если номинальное значение РТ параметра располагается в окрестности какой-либо границы $z_{\text{гпр}}$, то из-за ошибок измерения может сложиться ситуация, когда замер РТ параметра и его номинальное значение будут располагаться по разные стороны от этой границы. В связи с этим границы, найденные по номинальным значениям РТ параметров, необходимо передвинуть как в одну, так и в другую сторону на величину Δ_ξ .

В результате таких действий образуется новый участок, величина которого равна $2\Delta_\xi$, а приписываемый ему класс (один из семи, введенных ранее) определяется путем «суммирования» классов, приписанных соответствующим смежным участкам. Например, если смежным участкам приписаны: одному – класс «А», а другому – класс «КА», то новому участку приписывается класс «КА»; и если смежным участкам приписаны: одному – класс «АВ», а другому – класс «КБ», то новому участку приписывается класс «КАБ».

Будем считать, что систематические ошибки измерения РТ параметров отсутствуют, а случайные ошибки распределены по нормальному закону со средним квадратическим отклонением (СКО) σ_ξ . Тогда α -процентный доверительный интервал для случайных ошибок задается в виде $(z_{(100-\alpha)/2}\sigma_\xi, z_{(100+\alpha)/2}\sigma_\xi)$, где z_β определяется из условия $F_Z(z_\beta) \equiv \mathbf{P}(Z \leq z_\beta) = \beta/100$ (здесь Z – нормально распределенная стандартизованная случайная переменная). Величина Δ_ξ устанавливается равной половине α -процентного доверительного интервала. Например, в соответствии с «правилом трех сигм» $\Delta_\xi = 3\sigma_\xi$. Доверительная вероятность при этом приблизительно равна 0,997.

На этом подготовительный этап работы РС заканчивается. Далее начинается основной этап – работа с классифицируемой выборкой. Использование дискриминантных функций на этом этапе заключается в определении участков в диапазонах значений РТ параметров, в которые попадает реализовавшаяся совокупность РТ параметров, и совместном анализе соответствующих значений дискриминантных функций. Принятие решения о виде РЛС осуществляется путем проверки ряда логических условий типа:

1) $D_f(f_n^{(1)}) = 5 \wedge D_T(T_n^{(1)}) = 4 \wedge D_\tau(\tau_n^{(1)}) = 7 \Rightarrow$ КРЛС (однозначная классификация вида РЛС, и из дальнейшего анализа могут быть исключены АРЛС и БРЛС);

2) $D_f(f_n^{(2)}) = 1 \wedge D_T(T_n^{(2)}) = 1 \wedge D_\tau(\tau_n^{(2)}) = 6 \Rightarrow$ обнаруженная РЛС – «неопознанная» (проведение байесовской классификации не требуется).

Здесь $(f_n^{(1)}, T_n^{(1)}, \tau_n^{(1)})$ и $(f_n^{(2)}, T_n^{(2)}, \tau_n^{(2)})$ – реализовавшиеся совокупности РТ параметров в первом и во втором рассмотренных вариантах соответственно.

ОБУЧЕНИЕ РАСПОЗНАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ БЕЗ УЧИТЕЛЯ (САМООБУЧЕНИЕ)

При минимальном размере выборки, определяемом временем контакта с разведываемой РЛС, количество n сигналов от РЛС будет зависеть от частоты их повторения, и его можно представить в виде $n = \tau_k F_n$, где τ_k – интервал времени, в течение которого сигналы от РЛС поступают на систему обработки; F_n – частота повторения сигналов РЛС. Интервал времени τ_k определяется в соответствии с теорией совпадения случайных импульсных потоков [3].

Сигналы существующих и разрабатываемых РЛС отличаются чрезвычайным многообразием параметров. Характерной

особенностью является вобуляция (перестройка от импульса к импульсу) несущей частоты сигнала и периода повторения импульсов. Если в результате статистической проверки соответствующей гипотезы будет принято решение об отсутствии/наличии вобуляции РТ параметра, то из дальнейшего анализа могут быть исключены эталонные РТО РЛС, у которых значение признака вобуляции соответствующего РТ параметра не совпадает с принятым решением.

В основу процедуры статистической проверки гипотезы об отсутствии вобуляции РТ параметра положена проверка соответствия малой выборки распределению отношения двух несмещенных оценок дисперсий (F -распределению) [4]. Действительно, при отсутствии вобуляции РТ параметра дисперсия выборки характеризует только ошибки измерения, а при ее наличии – дополнительно еще и квадрат диапазона перестройки РТ параметра. Этому условию удовлетворяет распределение отношения двух несмещенных оценок дисперсий, полученных из независимых выборок, взятых из нормальных совокупностей, т. е. распределение величины $F = \hat{s}_1^2 / \hat{s}_2^2$. Причем в качестве числителя (\hat{s}_1^2) обычно берут большую из двух несмещенных оценок дисперсий. F -распределение зависит только от чисел степеней свободы $\nu_1 = n_1 - 1$ и $\nu_2 = n_2 - 1$, если выборки имеют объемы: n_1 – первая и n_2 – вторая.

В нашем случае в качестве оценки \hat{s}_1^2 может рассматриваться несмещенная оценка \hat{s}_ξ^2 неизвестной дисперсии S_ξ^2 . Дисперсия \hat{s}_2^2 равна известной априори дисперсии σ_ξ^2 ошибки однократного измерения РТ параметра.

Проверка гипотез относительно неизвестной дисперсии S_ξ^2 означает использование выборочных данных для проверки двух взаимоисключающих гипотез относительно (истинного, но неизвестного) значения S_ξ^2 . Типичная пара таких гипотез задается в виде основной гипотезы H_0 , заключающейся в том, что вобуляция РТ параметра отсутствует, и односторонней конкурирующей гипотезы H_1 , означающей, что вобуляция РТ параметра существует: $H_0: S_\xi^2 / \sigma_\xi^2 = 1$, $H_1: S_\xi^2 / \sigma_\xi^2 > 1$. Проверку организуют таким образом, чтобы вероятность отклонения верной гипотезы H_0 (ее называют «нуль-гипотезой») равнялась некоторому заранее заданному, достаточно малому значению (обычно 5, или 1%). Эту величину называют *уровнем значимости критерия*.

Запишем это определение более точно: если критерий определен так, что $\mathbf{P}(H_0 \text{ отвергается} | H_0 \text{ верна}) = \alpha/100$, то его уровень значимости равен $\alpha\%$. Для рассматриваемой задачи подходящей процедурой проверки, указывающей на достижение α -процентного уровня значимости, будет контроль за выполнением одного из условий:

принять H_0 и отклонить H_1 , если $\hat{s}_\xi^2 / \sigma_\xi^2 \leq F(\alpha; \nu_1, \infty)$;
принять H_1 и отклонить H_0 , если $\hat{s}_\xi^2 / \sigma_\xi^2 > F(\alpha; \nu_1, \infty)$, (3)

где $F(\alpha; \nu_1, \infty)$ – α -процентная точка F -распределения (критическое значение для отношения $\hat{s}_\xi^2 / \sigma_\xi^2$).

Здесь $\hat{s}_\xi^2 = \sum_{i=1}^n (z_{\xi i} - \bar{z}_\xi)^2 / (n-1)$; $\bar{z}_\xi = \sum_{i=1}^n z_{\xi i} / n$; n – объем выборки; $\nu_1 = n - 1$, $\nu_2 \rightarrow \infty$ – параметры (числа степеней свободы) F -распределения.

Если значение σ_ξ^2 известно, то выполнение первого неравенства в (3) означает, что отклонение истинного процесса формирования наблюдений от его модели, построенной в предположении отсутствия вобуляции РТ параметра, не различимо на фоне ошибок измерений. Выполнение второго неравенства в (3) означает, что при данном уровне ошибок измерений и уровне значимости критерия модель, принятая для представления процесса формирования наблюдений, не согласуется с результатами наблюдений.

В том случае, когда критерий, сформулированный выше, опровергает гипотезу $S_\xi^2 / \sigma_\xi^2 = 1$, требуется оценить истинную величину отношения S_ξ^2 / σ_ξ^2 , т. е. указать доверительные пределы для этого отношения. Воспользуемся выражением

для «дисперсионного отношения» $F = \frac{\sigma_2^2 \hat{s}_1^2}{\sigma_1^2 \hat{s}_2^2}$, где \hat{s}_1^2, \hat{s}_2^2 – несмещенные оценки для соответствующих дисперсий σ_1^2, σ_2^2 , подчиняющегося F -распределению [4]. В результате получим

$$P \left\{ \frac{\hat{s}_2^2}{\sigma_2^2 F(\alpha; \nu_1, \infty)} < \frac{S_\xi^2}{\sigma_\xi^2} < \frac{\hat{s}_1^2}{\sigma_1^2} F(\alpha; \infty, \nu_1) \right\} = 1 - \frac{2\alpha}{100},$$

где $\hat{s}_2^2 / [\sigma_2^2 F(\alpha; \nu_1, \infty)]$, $\hat{s}_1^2 F(\alpha; \infty, \nu_1) / \sigma_1^2$ – нижний и верхний доверительные пределы для S_ξ^2 / σ_ξ^2 соответственно. Каждый из доверительных пределов соответствует коэффициенту доверия $1 - 0,01\alpha$.

При наличии вобуляции РТ параметра суммарная дисперсия определяется по результатам композиции нормального закона (плотность вероятностей $w_x(x)$, математическое ожидание $\bar{x} = 0$, срединное отклонение E_ξ , СКО α_ξ , $E_\xi = \rho\sqrt{2}\sigma_\xi$, $\rho \cong 0,476936$) и закона равномерного распределения, заданного в интервале $(\bar{y}-l, \bar{y}+l)$ (плотность вероятностей $w_y(y)$, центр \bar{y} , дисперсия $l^2/3$) [5].

Плотность вероятностей суммарного закона имеет вид

$$w_z(z) = \int_{-\infty}^{\infty} w_y(y) w_x(z-y) dy = \frac{1}{2l} \int_{\bar{y}-l}^{\bar{y}+l} \frac{\rho}{E_\xi \sqrt{\pi}} \exp \left\{ -\rho^2 \frac{(z-y-\bar{x})^2}{E_\xi^2} \right\} dy.$$

Замена переменной $(z-y)/E_\xi = t$ приводит к выражению

$$w_z(z) = -\frac{1}{2l} \cdot \frac{2\rho}{2\sqrt{\pi}} \int_{(z-\bar{y}-l)/E_\xi}^{(z-\bar{y}+l)/E_\xi} \exp \{-\rho^2 t^2\} dt = \frac{1}{4l} \left[\hat{\Phi} \left(\frac{z-\bar{y}+l}{E_\xi} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{z-\bar{y}-l}{E_\xi} \right) \right],$$

где $\hat{\Phi}(x) = \frac{2\rho}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp \{-\rho^2 t^2\} dt$ – приведенная функция Лапласа.

Уравняв математическое ожидание и дисперсию для функции $w_z(z)$ и для плотности вероятностей $w'_z(z)$ закона нормального распределения, получим

$$w'_z(z) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(z-\bar{z})^2}{2\sigma_z^2} \right\}, \text{ где } \bar{z} = \bar{y}, \sigma_z^2 = \sigma_\xi^2 + l^2/3.$$

Определим теперь входящие в выражение для суммарной дисперсии σ_z^2 дисперсию ошибки измерения несущей частоты сигнала ($\sigma_\xi^2 \equiv \sigma_{f_n}^2$) и дисперсию ошибки измерения периода повторения импульсов ($\sigma_\xi^2 \equiv \sigma_{T_n}^2$).

Практически максимальная погрешность измерения определяется как $|\Delta v|_{\max} = 3\sigma(\Delta v)$, где $\sigma(\Delta v)$ – СКО погрешности Δv . Будем считать, что погрешность измерения несущей частоты сигнала характеризуется величиной $|\Delta f_n|_{\max}$. Тогда $\sigma_{f_n}^2 = (|\Delta f_n|_{\max} / 3)^2$.

Определение дисперсии ошибки измерения периода повторения импульсов требует дополнительного исследования. Предположим, что в результате проведения сеанса измерений (длительность которого τ_k) получен массив n независимых равнооточных измерений моментов времени $t_i, i = 1, 2, \dots, n$, поступления каждого из n импульсов. Оценивается скалярный параметр T_n – период повторения импульсов. Соотношение между измеряемыми моментами времени t_i и оцениваемым параметром T_n запишется в виде

$$t_i - t_{i-1} = T_n + \Delta t_{i, i-1}, \quad (4)$$

где $\Delta t_{i, i-1}$ – погрешность измерения разности моментов времени поступления двух смежных импульсов.

Результаты измерений разностей смежных моментов времени $t_i - t_{i-1}$ линейно связаны с оцениваемым параметром T_n уравнением (4). В матричных обозначениях эта связь записывается в виде (индекс « $n-1$ » указывает число измерений T_n)

$$\mathbf{B}_{n-1} = \mathbf{A}_{n-1} T_n + \Delta \mathbf{B}_{n-1},$$

где \mathbf{B}_{n-1} – $(n-1)$ -мерный вектор дискретных измерений; T_n – оцениваемый параметр; \mathbf{A}_{n-1} – матрица дифференциальных операторов размера $(n-1) \times 1$; $\Delta \mathbf{B}_{n-1}$ – $(n-1)$ -мерный вектор дискретных погрешностей измерений.

Матричные обозначения \mathbf{A}_{n-1} и \mathbf{B}_{n-1} имеют вид

$$\mathbf{A}_{n-1} = \|\| 1, 1, \dots, 1 \|^\top; \mathbf{B}_{n-1} = \|\| t_2 - t_1, t_3 - t_2, \dots, t_n - t_{n-1} \|^\top,$$

где индекс « \top » – знак транспонирования.

В рассматриваемом случае совокупность погрешностей измерений T_n представляет собой $(n-1)$ -мерную систему коррелированных случайных величин, распределенных по нормальному закону с параметрами $(0, \sqrt{2}\sigma_t)$, где σ_t^2 – дисперсия ошибки измерения момента прихода каждого импульса. Если момент окончания одного измерения T_n совпадает с моментом начала следующего, то соседние измерения T_n будут коррелированы с коэффициентом корреляции $-0,5$. При учете имеющейся корреляции между измерениями метод наименьших квадратов приводит к следующей системе уравнений:

$$(\mathbf{A}_{n-1}^\top \mathbf{R}_{n-1}^{-1} \mathbf{A}_{n-1}) T_n = \mathbf{A}_{n-1}^\top \mathbf{R}_{n-1}^{-1} \mathbf{B}_{n-1},$$

где \mathbf{R}_{n-1} – ковариационная матрица ошибок измерений.

Откуда получаем следующие выражения для оптимальной оценки периода повторения импульсов и ее дисперсии:

$$T_n = (\mathbf{A}_{n-1}^\top \mathbf{R}_{n-1}^{-1} \mathbf{A}_{n-1})^{-1} \mathbf{A}_{n-1}^\top \mathbf{R}_{n-1}^{-1} \mathbf{B}_{n-1}; \sigma_{T_n}^2 = (\mathbf{A}_{n-1}^\top \mathbf{R}_{n-1}^{-1} \mathbf{A}_{n-1})^{-1}.$$

БАЙЕСОВСКИЕ АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ РЛС И КЛАССОВ ИХ НОСИТЕЛЕЙ

При полном знании всех вероятностных мер на множествах, соответствующих рассматриваемым статистическим задачам, или, иначе, при полной априорной определенности минимизируется безусловное среднее значение функции потерь, называемое средним риском. Соответствующее оптимальное решение, определяющее наилучшую информационную систему или процесс, в ней происходящий, называется байесовым решением, а минимальный средний риск – байесовским.

Распознавание типов РЛС производится путем сравнения наблюдаемых данных со всеми эталонными РТО РЛС, отобранными по результатам ранее выполненных режимов адаптации, обучения и самообучения РС. Зададим номера типам N_{\max} отобраным РЛС $N = 1, 2, \dots, N_{\max}$ в единой системе нумерации типов.

В общем случае имеет место распознавание $N_{\max} > 1$ типов РЛС (гипотез), которые следует различать, основываясь на измерениях РТ параметров. Такая постановка задачи соответствует многоальтернативным задачам распознавания, при решении которых так же, как и в случае двух гипотез, пользуются понятием минимального среднего риска. При этом матрица стоимостей $\| c_{ml} \|$, $m, l = 1, 2, \dots, N_{\max}$, будет более высокого порядка. Пусть c_{ml} – стоимость (риск, потеря) принятия решения об обнаружении РЛС типа l , тогда как в действительности обнаружена РЛС типа m (стоимость ошибочного решения); c_{mm} – стоимость принятия решения об обнаружении РЛС типа m , когда действительно обнаружена РЛС типа m (стоимость правильного решения).

Если в результате измерений получен случайный вектор \mathbf{z} , то принимается с наименьшим средним риском гипотеза типа k (считается, что обнаружена РЛС типа k) при выполнении для всех $l \neq k$ неравенства [6]

$$\sum_{m=1}^{N_{\max}} P_m c_{mk} w_m(\mathbf{z}) \leq \sum_{m=1}^{N_{\max}} P_m c_{ml} w_m(\mathbf{z}), \quad (5)$$

где P_m – априорная вероятность появления сигнала от РЛС m -го типа; $w_m(\mathbf{z})$ – условная функция распределения плотности вероятностей.

Оценки вероятностей распознавания классов целей в составе корабельных группировок

Класс НЦ	Одна излучающая РЛС			Две излучающие РЛС		
	ОРДЕР1	ОРДЕР2	ОРДЕР3	ОРДЕР1	ОРДЕР2	ОРДЕР3
НЦ1	0,70	–	–	1,00	–	–
НЦ2	0,61	–	–	0,92	–	–
НЦ3	–	–	0,60	–	–	1,00
НЦ4	–	–	1,00	–	–	1,00
НЦ5	0,19	0,81	0,59	0,89	1,00	0,89
НЦ6	1,00	1,00	–	1,00	1,00	–
НЦ7	0,79	0,42	0,81	1,00	0,89	1,00
НЦ8	–	0,37	–	–	0,62	–

Рассмотрим частный случай. Будем считать, что потери (стоимость) правильного решения равны нулю, т. е. $c_{kk} = c_{ll} = 0$, и что стоимость неверного решения во всех случаях одинакова, т. е. $c_{ml} = c$ при всех m и l , причем $l \neq m$ (полупростая функция потерь). Тогда неравенство (5) принимает вид

$$P_k w_k(\mathbf{z}) \geq P_l w_l(\mathbf{z}).$$

Отметим, что в случае простой функции потерь, т. е. когда $c_{ml} = 1$ при $l \neq m$ и $c_{ml} = 0$ при $l = m$, рассмотренные алгоритмы, обеспечивающие распознавание с наименьшим средним риском, также являются оптимальными и по критерию минимума вероятности неправильной классификации РЛС произвольного типа.

Стратегию Байеса можно также описать и с помощью теоремы гипотез (формулы Байеса). Послеопытные (апостериорные – после приема реализации \mathbf{z}) вероятности типов РЛС выражаются через соответствующие условные плотности вероятности $w(\mathbf{z} | N)$ (функции правдоподобия значений номеров N типов РЛС)

$$P(N | \mathbf{z}) = \frac{P(N) w(\mathbf{z} | N)}{\sum_{N=1}^{N_{\max}} P(N) w(\mathbf{z} | N)}, \quad N = 1, 2, \dots, N_{\max},$$

где $P(N)$ – априорная вероятность приема сигнала от РЛС N -го типа.

Расчет вероятностей $P(N)$ выполняется по формуле (1), а функций $w(\mathbf{z} | N)$ – в соответствии с выражениями, приведенными в работе [7].

Если в анализируемом частотном поддиапазоне для N -го типа РЛС имеется несколько режимов излучения (возможных комбинаций значений РТ параметров), то выбирается тот режим излучения, который обеспечивает наибольшее значение функции правдоподобия.

Определение вероятностей $P(1 | \mathbf{z})$, $P(2 | \mathbf{z})$, ..., $P(N_{\max} | \mathbf{z})$ позволяет на основе их сопоставления сформулировать решающие правила (критерии), в соответствии с которыми принимаются окончательные решения о принадлежности распознаваемой РЛС к тому или другому типу.

Решение задачи классификации ИЦ основано на результатах распознавания типов РЛС, оснащенность которыми целей определенных классов известна.

Условная вероятность обнаружения цели k -го класса K_k при условии получения информации о ней в виде вектора \mathbf{z} замеров РТ параметров принятых сигналов от РЛС N -го типа в соответствии с формулой полной вероятности запишется в виде

$$P(K_k | \mathbf{z}) = \sum_{N=1}^{N_{\max}} P(K_k | N) P(N | \mathbf{z}),$$

где $P(K_k | N)$ – рассчитанная по формуле (2) априорная вероятность наблюдения цели k -го класса K_k при условии установки на ней РЛС N -го типа; $P(N | \mathbf{z})$ – вычисляемая по формуле Байеса апостериорная вероятность РЛС N -го типа при условии получения вектора \mathbf{z} .

Экспериментальное исследование разработанных алгоритмов выполнялось на ПЭВМ посредством статистического эксперимента по методу Монте-Карло. На статистической модели оценивалась вероятность правильной классификации целей в составе типовых корабельных группировок (КГ): ОРДЕР1, ОРДЕР2 и ОРДЕР3 – по одному и по двум типам излучающих РЛС, установленных на каждой цели. В качестве решающего правила (критерия), в соответствии с которым принималось решение о принадлежности распознаваемой цели к тому или другому классу, использовался критерий идеального наблюдателя (правило Зигерта–Котельникова).

Оценки вероятностей распознавания классов целей в составе КГ указанных выше типов приведены в таблице.

Анализ таблицы показывает, что использование двух типов РЛС обеспечивает существенное повышение вероятности правильной классификации целей. Так, например, для целей, составляющих ядро КГ, вероятности их правильной классификации возрастают: НЦ1 в составе КГ типа ОРДЕР1 – в 1,43 раз; НЦ5 в составе КГ типа ОРДЕР2 – в 1,23 раз; НЦ3 в составе КГ типа ОРДЕР3 – в 1,67 раз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для уменьшения начальной неопределенности условий и соответствующего улучшения характеристик байесовской классификации ИЦ введены подготовительный этап работы с режимами адаптации и обучения РС с учителем и основной этап работы с режимом самообучения РС. Эти последовательные выполняемые режимы позволяют поэтапно сокращать допустимое множество эталонных РТО РЛС, являющихся «претендентами» на идентичность с РТО распознаваемой РЛС.

В режиме адаптации с использованием разработанного интерфейса «оператор–система» создаются рабочие БД, в которые из каталогов переписываются данные только о тех РЛС и их носителях, которые с большой вероятностью могут быть обнаружены в заданном тактическом районе.

В режиме обучения РС с учителем на основе обучающих выборок, извлекаемых из рабочих БД, строятся гистограммы РТ параметров РЛС трех видов и путем их совместного анализа – дискриминантные функции, выносящие классификационное решение относительно возможного вида РЛС по каждому РТ параметру.

На основном этапе (при работе с классифицируемой выборкой) сокращение допустимого множества эталонных РТО РЛС обеспечивается за счет использования результатов:

- совместного анализа значений дискриминантных функций;
- статистической оценки в режиме самообучения РС факта отсутствия/наличия у принятой реализации сигналов волютации РТ параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мейер Д.* Теория реляционных баз данных. – М.: Мир, 1987.
2. *Горелик А.Л., Скрипкин В.А.* Методы распознавания. – М.: Высшая школа, 1989.
3. *Седякин Н.М.* Элементы теории случайных импульсных потоков. – М.: Сов. радио, 1965.
4. *Большаков Л.Н., Смирнов Н.В.* Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1965.
5. *Володин Б.Г., Галин М.П., Динер И.Я., Комаров Л.Б., Свешников А.А., Старобин К.Б.* Сборник задач по теории вероятностей, математической статистике и теории случайных функций. / Под общей ред. д-ра техн. наук проф. А.А. Свешникова. – М.: Наука, 1965.
6. *Персада В.П.* Автоматическое распознавание образов. (Библиотека по автоматике, вып. № 392). – Л.: Энергия, 1970.
7. *Коржавин Г.А., Подоплёкин Ю.Ф., Мальцев О.Г.* Распознавание типа морской групповой цели по информации корабельных средств пассивной локации. // Морской вестник. – 2016. – Спец. вып., № 1 (12). – С. 7–10. ■

В последние годы активно развивается автономное судовождение. В Российской Федерации реализуются проекты-маяки по автономному судовождению (а-Навигация). В рамках данных работ с 2022 по 2023 г. планируется внедрение автономного судовождения на автомобильно-железнодорожных паромках «Маршал Рокоссовский» и «Генерал Черняховский», которые будут перевозить грузы из морского порта Усть-Луга в Калининградскую область в тестовом автономном режиме [2, 3]. В настоящее время проводится опытная эксплуатация базовой технологической платформы (БТП) безэкипажного судовождения коммерческого флота (БЭС КФ) на море, разработанной в рамках опытной-конструкторской работы по проекту БЭС КФ [2–5].

Данные проекты предусматривают дооборудование действующих либо ранее спроектированных судов, которые изначально не предназначены для дистанционного и автономного судовождения в соответствии с требованиями Российского морского регистра судостроения (РМРС) к автономным и дистанционно управляемым надводным судам (МАНС)» [6].

АВТОНОМНОЕ И ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА ПОД УПРАВЛЕНИЕМ БТП

В рамках ОКР «БЭС КФ» компания «Ситроникс КТ» совместно с судовладельцами проводит опытную эксплуатацию БТП. Оборудование БТП позволяет обрабатывать технологии дистанционного и автономного судовождения на действующих судах и в последующем может быть использовано в качестве автономного навигационного комплекса (АНК), который позволит реализовать технологии автономного судовождения в соответствии с требованиями МАНС. Состав, структура и назначение отдельных элементов БТП в данной статье не приведены, но подробно описаны в [4].

За время опытной эксплуатации БТП судами пройдено более 10 тыс. миль, протестирован автономный режим движения судна по траектории, включая маневр расхождения со встречными судами, обеспечено дистанционное управление движением судна от рукоятки, расположенной на ДПУ. Внешний вид пульта дистанционного управления представлен на рис. 1.

Основой БТП является автономная навигационная система (АНС), которая в автономном режиме обеспечивает движение судна по траектории, рассчитывает маневры расхождения с учетом навигационных ограничений

АВТОНОМНОЕ СУДОВОЖДЕНИЕ НА ДЕЙСТВУЮЩИХ СУДАХ

А.С. Корнев, начальник отдела разработки систем управления судном,
А.С. Скрыпка, 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



Рис. 1. Внешний вид ДПУ

со встречными судами, данные о которых получает от радиолокационной станции (РЛС), автоматической идентификационной системы (АИС) и обзорно-поисковой системы (ОПС). При движении по маршруту АНС обеспечивает отклонение от линии маршрута не более 0,1 каб, в поворотах при переходе с галса на галс – не более 0,2 каб. Управление от АНС осуществляется на волнении моря до 3 баллов (включительно) и при порывах ветра до 12 м/с. Опытная эксплуатация подтвердила, что дистанционное управление движением судна от рукоятки может осуществляться с ДПУ по спутниковому каналу, при этом задержка в передаче команды на исполнительные механизмы не превышает 0,6 с. Внешний вид экра-

на управления АНС приведен на рис. 2, на рис. 3 – маневр обгона судна, который осуществляла АНС в автономном режим на судне пр. RSD59.

Для обеспечения управления движением судна от АНС потребовалось выполнить ее сопряжение с оборудованием движительно-рулевого комплекса (ДРК) и его системами управления на действующих судах. В отличие от средств связи, навигации и видеонаблюдения, движительно-рулевой комплекс на действующем судне быстро заменить невозможно, поэтому сопряжение АНС из состава БТП необходимо проводить с установленными на судне системами управления движением. В связи с этим возникает новая задача, которая заключает-



Рис. 2. Внешний вид экрана управления АНС

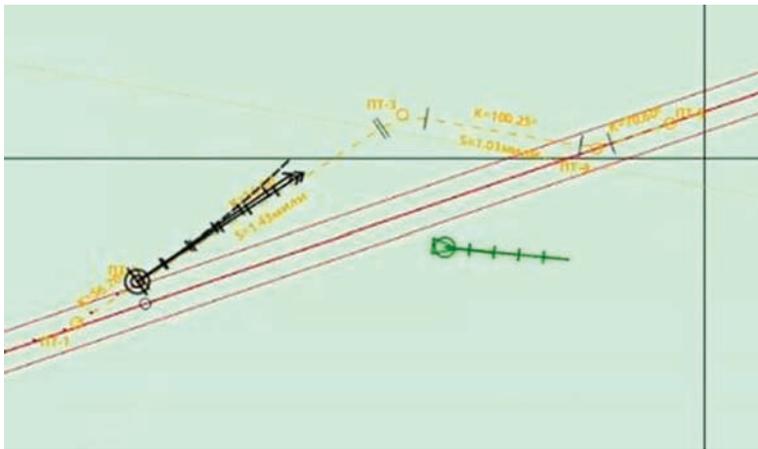


Рис. 3. Маневр обгона, выполняемый АНС

ся в определении систем, с которыми необходимо выполнить сопряжение АНС, а также к какому уровню автоматизации данные системы относятся. Наглядное представление о задачах, выполняемых системами управления ДРК, и уровне автоматизации дает иерархическая структура уровней автоматизации ДРК.

ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА УРОВНЕЙ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ДРК НА СУДНЕ

В зависимости от навигационной обстановки управление ходом и направлением движением судна обеспечивается главной энергетической установкой совместно с движителями, подруливающими устройствами, винторулевыми колонками или рулевыми машинами. Управление исполнительными механизмами на судне состоит из четырех уровней автоматизации. На рис. 4 приведена иерархическая структура уровней автоматизации

на примере систем управления судном, оборудованным подруливающим устройством, главными двигателями с винтом фиксированного шага и рулевыми машинами.

Первым уровнем автоматизации являются местные посты управления исполнительными механизмами. На них предусмотрены индикация основных отказов исполнительных механизмов и простое (кнопочное) управление значением управляемого параметра (обороты, угол перекладки руля и др.). В большинстве случаев местные посты расположены в непосредственной близости от исполнительных механизмов, обычно в том же судовом помещении.

Ко второму уровню относятся системы дистанционного автоматизированного управления, которые обеспечивают дистанционное следующее управление частотой вращения гребных винтов, винтов подруливающих устройств, перекладку рулей/винторулевых колонок. Органы управления данных систем рас-

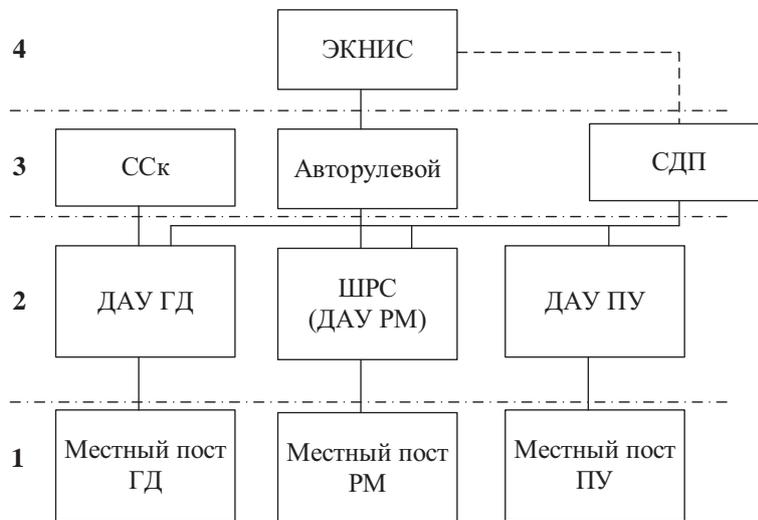


Рис. 4. Иерархическая структура уровней автоматизации систем управления движением судна

ГД – главные двигатели; ДАУ – дистанционное автоматизированное управление; ДПУ – дистанционный пост управления вне судна; РМ – рулевая машина; СДП – система динамического позиционирования; ССк – система стабилизации скорости; ШРС – штурвально-рулевая система; ЭКНИС – электронная картографическая навигационно-информационная система

положены в пультовых секциях на ходовом мостике судна.

Системы, обеспечивающие автоматическую стабилизацию скорости хода (ССк), курса (авторулевой) и местоположения судна (СДП), относятся к *третьему уровню автоматизации*. Панели управления данных систем встраиваются в пультовые секции, расположенные на ходовом мостике судна.

На последнем, *четвертом, уровне* находится ЭКНИС, которая позволяет обеспечить движение по заданной траектории с помощью авторулевого (на скоростях хода более 6 уз) или системы динамического позиционирования (на скоростях хода менее 6 уз).

Анализируя структуру автоматизации уровней управления на судне, можно прийти к выводу, что АНС выполняет задачи ЭКНИС с дополнительной функцией автономного судовождения, поэтому его можно отнести к четвертому уровню автоматизации. Тогда для решения задачи управления движением судна достаточно выполнить сопряжение АНС с системами третьего уровня автоматизации, тем самым обеспечить движение судна во всем диапазоне скоростей хода. При движении по траектории с заданным курсом и скоростью хода более 6 уз АНС будет управлять авторулевым и ССк, а при маневрировании на малых ходах – управлять СДП. К сожалению, системы третьего уровня для сопряжения с АНС требуют значительных доработок из-за отсутствия стандартизированных протоколов обмена данными, так как сейчас стандартизован только протокол сопряжения между авторулевым и ЭКНИС [7,8]. Кроме того, из оборудования третьего уровня автоматизации на действующих судах представлены в основном авторулевые. По этим причинам возникает необходимость в разработке оборудования третьего уровня автоматизации, которое обеспечило бы управление движением судна от АНС во всем диапазоне скоростей хода судна. В рамках работ ОКР «БЭС КФ» была разработана система координированного управления (СКУ), которая управляет исполнительными механизмами через системы дистанционного автоматизированного управления (ДАУ) и обеспечивает управление судном во всем диапазоне скоростей хода судна, включая режим маневрирования на малых ходах [5].

Управление системами ДАУ от систем третьего уровня осуществляется с помощью аналоговых и дискретных сигналов. В большинстве случаев системы ДАУ имеют аппаратную избыточность, что позволяет им быть довольно

«гибкими» в части сопряжения с системами третьего уровня. Так, на судне «Пола Анфиса» пр. RSD59 система СКУ была сопряжена с системой управления винторулевыми колонками (ВРК) компании Schottel. Компании Schottel для сопряжения потребовалась дооснастить дополнительными модулями щит управления ВРК и обновить программное обеспечение для поддержки работы с данными модулями. Внешний вид щита управления компании Schottel с закрытой и открытой дверью приведен на рис. 5.

Введение дополнительных систем третьего и четвертого уровня автоматизации на судне для обеспечения автономного и дистанционного управления с ДПУ привело к изменению иерархической структуры уровней автоматизации. Иерархическая структура уровней автоматизации судна с учетом возможности дистанционного управления с берегового поста (RCMC) представлена на рис. 6.

Отдельно необходимо обратить внимание на то, что АНС, в отличие от ЭКНИС, не предполагает управления оператором, находящимся на судне. При работе АНС управление движением судна выполняется с ДПУ. По этой причине для автономных и дистанционно управляемых судов четвертый уровень автоматизации можно разделить на два подуровня: бортовой (четвертый уровень) и береговой (четвертый+ уровень), что привело к последующему изменению требований к ДПУ в части ЭКНИС.

ИЗМЕНЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ДПУ В ЧАСТИ ЭКНИС

При управлении судном с ДПУ было выдвинуто требование о необходимости установки сертифицированного ЭКНИС на ДПУ. Основной набор функций, которые предоставляет ДПУ оператору, близок к набору функций стандартного ЭКНИС, удовлетворяющему стандарту МЭК 61174 [8]. Некоторые функции совпадают полностью, например, отображение морских навигационных карт стандартов S57/S63 с управлением нагрузкой, темой, параметрами отображения. Однако значительная часть функций при сходном назначении должна иметь иную реализацию, например, отображение собственного судна.

ДПУ в отличие от бортового ЭКНИС должен предполагать периодическую кратковременную потерю связи с судном, обеспечивать кратковременное прогнозирование и сглаживание места судна и элементов его движения. Кроме того, так как один ДПУ может обслуживать несколько судов (по очереди или одновременно), все параметры собственного судна должны приниматься от бортовой АНС, а не вводиться



Рис. 5. Прибор управления ДАУ ВРК компании Schottel

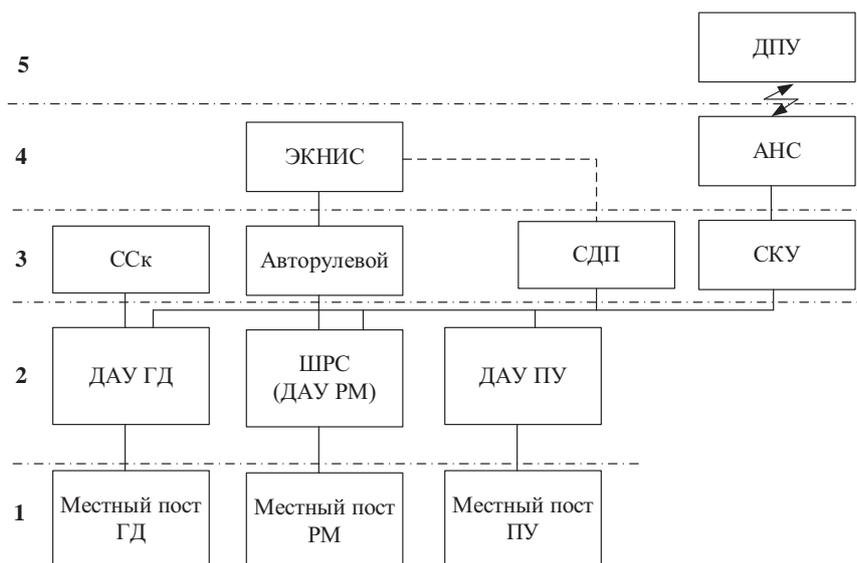


Рис. 6. Иерархическая структура уровней автоматизации систем управления движением судна категории RC_{MC}
АНС – автономная навигационная система; ДПУ – дистанционный пост управления вне судна; СКУ – система координированного управления

и храниться в ДПУ, как это происходит в случае стандартного ЭКНИС.

Другим показательным примером является сопряжение с VDR и отображение пройденного пути – содержательно эти функции должны быть реализованы в составе бортовой АНС, а ДПУ должен обеспечивать только отображение данных оператору и интерфейс управления.

Отображение навигационных ограничений и опасностей оператору на ДПУ должно выполняться с опорой на комплект карт, установленный в бортовую АНС, а не на установленный в ДПУ.

Можно утверждать, что функции стандартного ЭКНИС должны быть разделены на предоставление оператору (на ДПУ) и собственно реализацию (на бортовой АНС).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спроектирована базовая технологическая платформа, обеспечивающая автономный и дистанционный режим управления судном, дистанционный контроль и управление его техническими средствами, визуализацию окружающей обстановки с углом обзора до 360°. Разработаны АНС и СКУ, которые с достаточной точностью осуществляют управление движением судна по маршруту в автономном и дистанционном режиме. Разработан пользовательский интерфейс АНС на посту ДПУ, который обеспечивает отображение морских навигационных карт стандартов S57/S63 с управлением нагрузкой, темой, параметрами отображения, позволяет задавать и корректировать маршрут и расписание движения судна в автономном режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://fasie.ru/press/fund/razvitie-nti-may-ak/> (Дата обращения 10.01.2022 г.).
2. <https://www.rosmorport.ru/news/company/40286/> (Дата обращения 10.01.2022 г.).
3. <http://www.morvesti.ru/analitika/1692/93372/> (Дата обращения 11.02.2022 г.).
4. Патент России № 202050. Базовая платформа для реализации на судах режимов автоматического и дистанционного управления/А. С. Корнев, С. А. Кова-

лев//Бюлл. – 2021. – № 4.

5. Патент России № 2741669. Система координированного управления движением судна в режимах автоматического и дистанционного управления/А. С. Корнев, А. Г. Шпекторов, С. П. Хабаров и др.//Бюлл. 2021. – № 4. НД № 2–030101–037. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых надводных судов (МАНС). – СПб., Российский морской регистр судоходства. <https://lk.rs-class.org/regbook/>
7. IEC 61162–1. Maritime navigation and radiocommunication equipment and

systems – Digital interfaces.

8. IEC 62065. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Track control systems – Operational and performance requirements, methods of testing and required test results
9. ГОСТ Р МЭК 61174–2009. Морское навигационное оборудование и средства радиосвязи. Электронная картографическая навигационная информационная система (ЭКНИС). Эксплуатационные и технические требования, методы и требуемые результаты испытаний. ■

Одна из ключевых задач отечественной судостроительной промышленности – импортозамещение судовых систем и средств автоматики, особенно в условиях серийной постройки судов. Временной интервал от принятия головного проекта до окончания серии может достигать десяти лет и более. Отсутствие аналогов импортного оборудования может привести к существенным изменениям в конструкции и документации головного проекта, что нежелательно вследствие серьезных экономических затрат.

В связи с этим перед компанией АО «Ситроникс КТ», занимающейся разработкой и производством различных систем судовой автоматики и навигационного оборудования, встали задачи – создание авторулевого – системы управления курсом судна и выработка ряда дополнительных требований к нему. Новые авторулевые призваны заменить авторулевые «Аншютц» и соответствовать им по форм-фактору и внешнему интерфейсу. Изделие должно быть пригодным для установки на водоизмещающие суда гражданского и военного назначения, т. е. соответствовать требованиям Российского морского регистра судоходства (РМРС) и военных стандартов. Наконец, изделие должно интегрироваться с цифровой экосистемой «Ситроникс КТ», реализуемой в настоящее время в рамках цифровизации морской отрасли, призванной обеспечить безопасность и комфорт мореплавания.

АВТОРУЛЕВОЙ «РУМБ»

Авторулевым называется устройство, предназначенное для управления курсом судна. Функционал современных авторулевых значительно шире: в интеграции с электронно-картографической навигационной системой (ЭКНИС) авторулевой обеспечивает управление траекторией судна. Требования к современным системам управления курса и траекторией изложены в Правилах по оборудованию морских судов РМРС [1] и в международных стандартах [2, 3].

АВТОРУЛЕВОЙ «РУМБ»

А.Г. Шпекторов, канд. техн. наук, вед. инженер отдела разработки систем управления судном,

А.С. Корнев, начальник отдела разработки систем управления судном, АО «Ситроникс КТ»,
контакт. тел. +7 (921) 314 9623

Структурная схема авторулевого «Румб», разработанного в АО «Ситроникс КТ», показана на рис. 1. Функции авторулевого:

1. Управление движением корабля по заданному курсу.
2. Управление поворотом корабля с заданной угловой скоростью или по заданному радиусу поворота.
3. Поддержка следящего режима управления рулем.
4. Индикация основных параметров движения (курс, скорость, положения рулей и пр.).
5. Сопряжения с внешними системами: системой контроля дееспособно-

сти вахтенного помощника, обобщенной системой аварийно-предупредительной сигнализации, регистратором данных рейса.

6. Управление траекторией судна при сопряжении с ЭКНИС, поддерживающей управление по категории С.

7. Формирование сигналов аварийно-предупредительной сигнализации.

Авторулевой «Румб» имеет модульную структуру, разделенную по функциональному признаку. Связи с органами управления формируются в приборах сопряжения (ПС-АР). Стандартным средством управления являются рулевые машины, при дру-

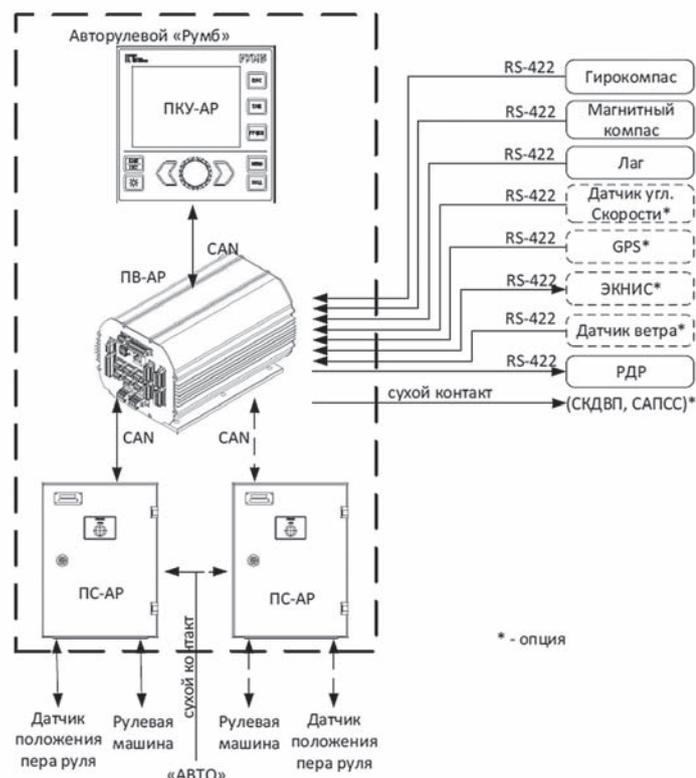


Рис. 1. Структура авторулевого «Румб»

гих конфигурациях вместо них подключаются поворотные устройства винторулевых колонок или азимутальных подруливающих устройств. Для управления на малых скоростях хода к авторулевому можно подключать и туннельные подруливающие устройства. Внутреннее сопряжение элементов авторулевого реализовано в отдельной сети по CAN-интерфейсу, поэтому число приборов сопряжения можно легко нарастить. Прибор сопряжения может быть сконфигурирован под любое средство управления. Другим преимуществом модульности является то, что приборы сопряжения могут быть размещены в различных судовых помещениях ближе к органам управления.

Основные алгоритмические задачи авторулевого решаются в приборе вычислительном (ПВ-АР). В нем собирается и проверяется на достоверность информация от навигационных датчиков, формируются команды управления, передаваемые в приборы сопряжения, он отвечает за изменение режимов работы и формирование сигналов аварийно-предупредительной сигнализации. При исполнении прибора вычислительного в виде отдельной сборочной единицы предусмотрена его заменяемость даже при наличии более жестких требований к конструкции, характерной, например, для судов и кораблей военного назначения.

Средством связи авторулевого с оператором является панель контроля и управления (ПКУ-АР), выполненная в стандартных габаритах авторулевого «Аншютц» (рис. 2). Панель оборудована стандартным дисплеем, в отличие от современных моделей «Аншютц» не имеющим сенсорного ввода, зато более надежным. Управление реализовано через кнопки и поворотную рукоятку. Рабочие экраны дисплея панели защищены патентом. Примерный вид экранов приведен на рис. 3. Отличительной особенностью панели и экранов является русскоязычный интерфейс.



Рис. 2. Внешний вид панели авторулевого

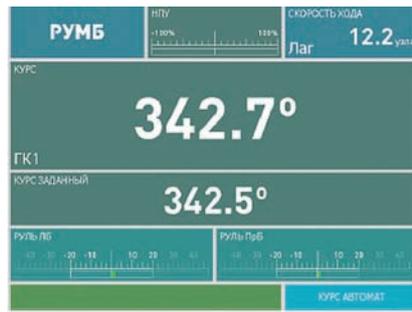


Рис. 3. Рабочие экраны панели авторулевого «Румб»

Программное обеспечение авторулевого «Румб» гибкое, ориентировано на многофункциональность и поддержку дополнительных режимов функционирования.

В простейшем режиме функционирования авторулевого управляет курсом при наличии навигационных данных о курсе и скорости хода. Управление параметрами поворота (угловая скорость либо радиус поворота) доступны через быстрое меню режима. При наличии сопряжения с ЭКНИС авторулевого управляет траекторией судна, получая от ЭКНИС поправки к курсу и параметры поворота. Навигационные данные передаются по стандартному интерфейсу RS-422. Поддержка следящего режима обеспечивает возможность управления рулем непосредственно с панели, без передачи управления на штурвал.

При более широкой конфигурации источников информации функционирование авторулевого становится более сложным. Наличие двух источников курса либо датчика угловой скорости повышает достоверность навигационных данных за счет алгоритмов фильтрации. Информация о скорости и направлении ветра при подключении соответствующего датчика предоставляется оператору на основном рабочем экране дисплея. Наконец, при наличии связи со спутнико-

выми системами авторулевой может управлять не только курсом, но и путевым углом судна, что обеспечивает движение вдоль заданной траектории с учетом возможного сноса. Координаты положения судна для удобства также могут быть выведены на дисплей панели.

Наличие информации от спутниковой системы опционально позволяет также реализовать некоторые типовые маневры. Например, при активации режима «человек за бортом» судно совершает маневр для возврата в точку активации на обратном курсе.

Также можно отметить, что наличие модульности на уровне «панель контроля и управления – прибор вычислительный» позволяет реализовать концепцию безэкипажного управления с данным авторулевым. Команды управления при этом могут поступать с берегового дистанционного центра управления, а приемное устройство на борту транслирует команды и передает по CAN-интерфейсу в вычислитель вместо панели управления. Данное направление развития изделия в АО «Ситроникс КТ» позволит реализовать его в единой цифровой экосистеме.

В заключение отметим, что авторулевой «Румб» – инновационный продукт АО «Ситроникс КТ». Дальнейшее совершенствование авторулевого позволит применять его как полностью самостоятельное и автономное изделие, так и в составе линейки навигационного оборудования компании «Ситроникс КТ» в рамках процесса цифровизации морской отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила по оборудованию морских судов. – Ч. V: Навигационное оборудование/Российский морской регистр судоходства. – СПб., 2020.
2. ISO 11674:2019. Ships and marine technology – Heading control systems.
3. IEC 62065:2014. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Track control systems – Operational and performance requirements, methods of testing and required test result. ■

Процессы производства, приемо-сдаточных и промежуточных испытаний, а также эксплуатация сложного высокотехнологичного оборудования требуют проверки работоспособности и правильного функционирования узлов и подсистем, соответствия изделий техническим условиям. Теория и практика контрольно-проверочной аппаратуры (КПА) разработаны достаточно глубоко, но появление новых технических средств требует повышения эффективности упомянутых выше процессов, в первую очередь для упрощения проведения или автоматизации испытаний.

В данной работе проанализирована возможность создания универсальной КПА, рассчитанной на широкий класс однотипного оборудования – блоков управления. Универсальная КПА хорошо подходит для проведения проверок работоспособности опытных образцов, макетов плат и блоков на этапах их проектирования и изготовления. Рассмотрим разработку КПА на примере проведения проверки блока управления исполнительными механизмами (БУИМ).

Требуемый функционал КПА:

- имитация сигналов внешних датчиков,
- прием сигналов внешних датчиков,
- имитация специализированных интерфейсов,
- подача команд управления,
- контроль функционирования блоков по задаваемым алгоритмам,
- контроль и регистрация параметров входных и выходных сигналов блоков в автоматическом и пошаговом режимах (под управлением оператора),
- возможность установки промышленной процессорной платы формата PCMG с 32- или 64-разрядной шиной PCI, а также промышленной материнской платы формата ATX,
- до 14 слотов расширения (ISA, PCI 32- или 64-разрядные).

В процессе работы БУИМ обменивается данными с блоком управления погружным (БУП) по CAN-интерфейсу, выполняет полученные команды: меняет напряжение на выходе ЦАП, задает дискретные сигналы. В составе изделия используются 3 БУИМ (рис. 1).

Для выполнения поставленной задачи было разработано программное обеспечение контрольно-проверочного комплекса на базе стенда-имитатора с целью проведения контроля работоспособности и испытаний БУИМ изделия. В качестве

ЦИФРОВЫЕ ИМИТАТОРЫ СИСТЕМ В РОЛИ КОНТРОЛЬНО-ПРОВЕРОЧНОЙ АППАРАТУРЫ

*Д. С. Сверчков, инженер-программист 1-й категории,
С. В. Головкин, начальник сектора, ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. (812) 640 1057*

стенда-имитатора был выбран промышленный компьютер IPC-510 (рис. 2) производства фирмы Advantech.



Рис. 2. Промышленный компьютер IPC-510

PCI-1752U (USO) – 64-канальная плата цифрового вывода с гальванической изоляцией (рис.3) имеет:



Рис. 3. Плата цифрового вывода PCI-1752U

- 64 канала цифрового вывода с гальванической изоляцией;
- гальваническую изоляцию от высоких напряжений на каналах вывода (2500 В постоянного тока);
- защиту от электростатических разрядов 2000 В постоянного тока;
- широкий диапазон напряжений выходных сигналов (5 ... 40 В постоянного тока);

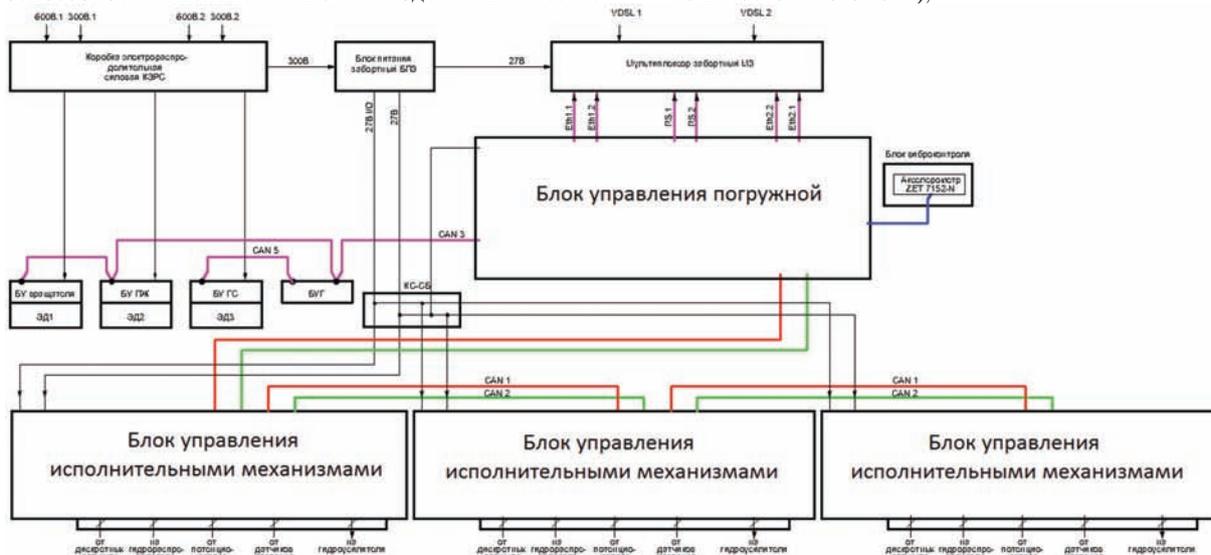


Рис. 1. Фрагмент функциональной схемы изделия

- высокую нагрузку по току на изолированных каналах вывода (до 200 мА на канал);
- функцию заморозки канала;
- 100-контактный SCSI разъем высокой плотности;
- поддерживаемые типы цифрового вывода: приемник (1752U) и источник (1752USO); Кроме того, она контролирует состояние выходных каналов и сохраняет значения на каналах цифрового вывода при горячей перезагрузке системы.

PCI-1752U (USO) имитирует дискретный сигнал, поступающий на БУИМ, а именно сигнал срабатывания концевых выключателей на исполнительных механизмах, аварийный сигнал.

Одна такая плата может имитировать до 64 каналов в зависимости от типа подключения.

PCI-1724U – 32-канальная плата аналогового вывода с 14-разрядным АЦП и гальванической изоляцией (рис. 4) имеет:

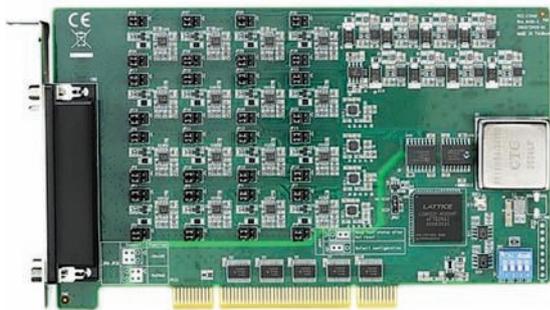


Рис. 4. Плата аналогового вывода PCI-1724U

- 32 канала аналогового вывода;
- диапазон выходного напряжения: +/-10 В, 0 ... 20 мА и 4 ... 20 мА;
- функцию синхронизированного вывода;
- переключатель BoardID™.

Сохраняет значения вывода в случае перезагрузки. PCI-1724U имитирует аналоговые сигналы, поступающие на БУИМ от исполнительных механизмов: с датчиков давления и датчиков положения.

Одна такая плата может имитировать до 64 каналов в зависимости от типа подключения.

PCI-1713U – 32-канальная плата аналогового ввода с 12-битным АЦП, частотой выборки до 10 кГц и гальванической изоляцией (рис. 5) имеет:



Рис. 5. Плата аналогового ввода PCI-1713U

- аналоговые входы: 32 потенциальных, 16 дифференциальных или их комбинация;
- 12-битный АЦП с частотой выборки до 100 кГц;
- поканально программируемое усиление;
- встроенный буфер FIFO на 4096 значений;
- гальваническую изоляцию 2500 В постоянного тока;
- программируемые схему запуска и диапазон входного сигнала.

При проверке БУИМ выдает сигналы на гидроусилители; в зависимости от номера БУИМ количество сигналов может изменяться.

Данная плата необходима для обработки выдаваемых БУИМ сигналов и обработки их.

За счет одной такой платы можно проверить до 32 каналов в зависимости от типа подключения.

PCI-1754 – 64-канальная плата цифрового ввода с гальванической изоляцией (рис. 6) включает:

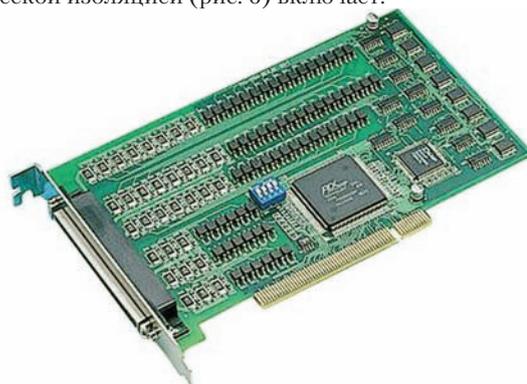


Рис. 6. Плата цифрового ввода PCI-1754

- 64 канала цифрового ввода с гальванической изоляцией;
- гальваническую изоляцию от высоких напряжений на каналах ввода (2500 В постоянного тока);
- защиту от перенапряжения 70 В постоянного тока;
- широкий диапазон напряжений входных сигналов (10 ... 50 В постоянного тока);
- 100-контактный SCSI разъем высокой плотности.

В числе ее функций – поддержка напряжений любой полярности при групповом цифровом вводе и работа по прерыванию.

При проверке БУИМ выдает сигналы на управляющие механизмы, гидрораспределители; в зависимости от номера БУИМ количество сигналов может изменяться.

Данная плата необходима для обработки дискретных сигналов, получаемых от БУИМ.

За счет одной такой платы можно проверить до 64 каналов.

ADAM-3951 – блок винтовых зажимов, подключаемый 50-pin SCSI-II кабелем, со светодиодными индикаторами для крепления на DIN-рейку. Этот модуль (рис. 7) может быть подключен к любым PC-LabCards компании Advantech и позволяет осуществлять индивидуальный доступ к каждому из контактов плат PCI-1752/1754/1756.

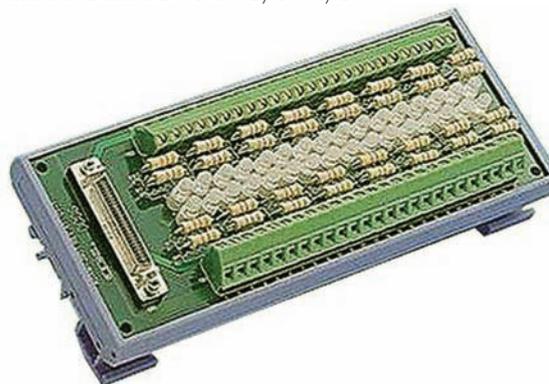


Рис. 7. Модуль ввода-вывода ADAM 3951

В ходе проверки БУИМ обеспечивает удобный доступ к каждому входному и выходному дискретному сигналу, а также дает визуальное представление о текущем состоянии сигнала.

ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ

LabVIEW (англ. Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) – это среда разработки и платформа для

выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США). Первая версия LabVIEW была выпущена в 1986 г. для Apple Macintosh. В настоящее время существуют версии для Unix, Linux, Mac OS и Microsoft Windows.

LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA-системам, но в отличие от них в большей степени ориентирована на решение задач не столько в области АСУ ТП, сколько в области АСНИ.

АСНИ (автоматизированная система научных исследований) – это программно-аппаратный комплекс на базе средств вычислительной техники, предназначенный для проведения научных исследований или комплексных испытаний образцов новой техники на основе получения и использования моделей исследуемых объектов, явлений и процессов.

LabVIEW – это кроссплатформенная графическая среда разработки приложений.

LabVIEW – в принципе универсальный язык программирования. И хотя этот продукт тесно связан с аппаратным обеспечением National Instruments, он, тем не менее, не привязан к конкретной машине. Существуют версии для Windows, Linux, MacOS.

Исходные тексты переносимы, а программы будут выглядеть одинаково во всех системах. Код, сгенерированный LabVIEW, также может быть исполнен на Windows Mobile.

Этот язык может с успехом использоваться для создания больших систем, для обработки текстов, изображений и работы с базами данных. LabVIEW – весьма высокоуровневый язык. Однако ничто не мешает включать «низкоуровневые» модули в LabVIEW-программы. Даже если вы хотите использовать ассемблерные вставки – это тоже возможно, надо лишь сгенерировать DLL и вставить вызовы в код. С другой стороны, высокоуровневый язык позволяет запросто проводить весьма нетривиальные операции с данными, на которые в обычном языке могли уйти многие строки (если не десятки строк) кода. Впрочем, ради справедливости, надо отметить, что некоторые операции низкоуровневых языков (например, работу с указателями) не так просто реализовать в LabVIEW ввиду его «высокоуровневости». Разумеется, язык LabVIEW включает основные конструкции управления, имеющие аналоги и в «традиционных» языках:

- переменные (локальные или глобальные);
- ветвление (case structure);
- For – циклы с проверкой завершения и без;
- While – циклы;
- группировка операций.

LabVIEW включает в себя богатые наборы элементов для построения пользовательских интерфейсов (рис. 8).



Рис. 8. Пример графических элементов в среде LabVIEW

Стандартная поставка LabVIEW включает в себя также блоки для работы с ini файлами и реестром, функции для работы с двоичными и тестовыми файлами, математические функции, мощные инструменты для построения графиков, а в дополнение к уже упомянутой возможности вызовов DLL, LabVIEW позволяет работать с ActiveX компонентами и .net. Начиная с восьмой версии в LabVIEW была добавлена поддержка классов – язык стал объектно-ориентированным.

Реализованную поддержку нельзя назвать полной, однако основные черты объектно-ориентированных языков – наследование и полиморфизм – присутствуют. Также функциональность языка можно расширить дополнительными модулями, например NI Vision Toolkit для обработки изображений и машинного зрения и другие. При помощи модуля Application Builder можно сгенерировать исполняемый exe-файл. С помощью Internet Toolkit можно работать с ftp серверами, а с помощью Database Connectivity Toolkit – с базами данных и т. д.

ПРОВЕДЕНИЕ ПРОВЕРКИ БУИМ

Стенд-имитатор подключается на место исполнительных механизмов (рис. 9) и имитирует их работу. БУИМ обрабатывает сигналы и передает их по CAN-интерфейсу на рабочее место оператора.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Данные выводятся в удобном для оператора виде, есть возможность вручную задавать напряжения на любом канале, дискретный ввод-вывод представлен в виде интуитивно понятных индикаторов и кнопок, внедрена возможность вывода на экран графиков (рис. 10 – 12).

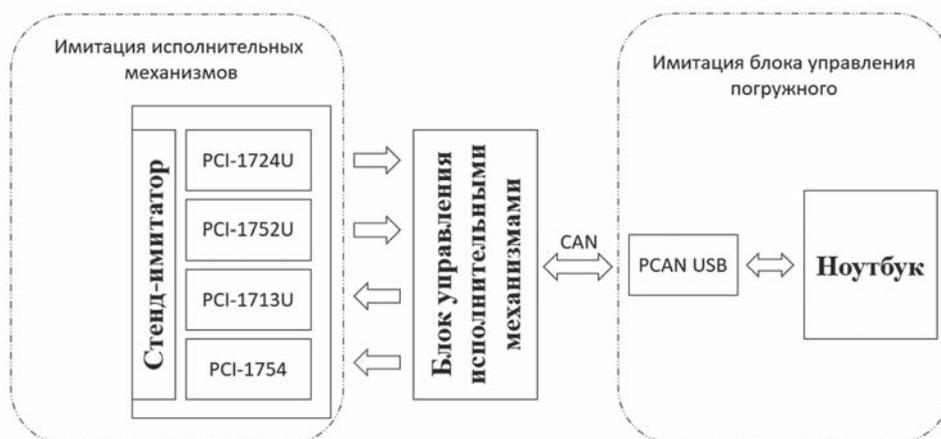


Рис. 9. Схема подключения БУИМ

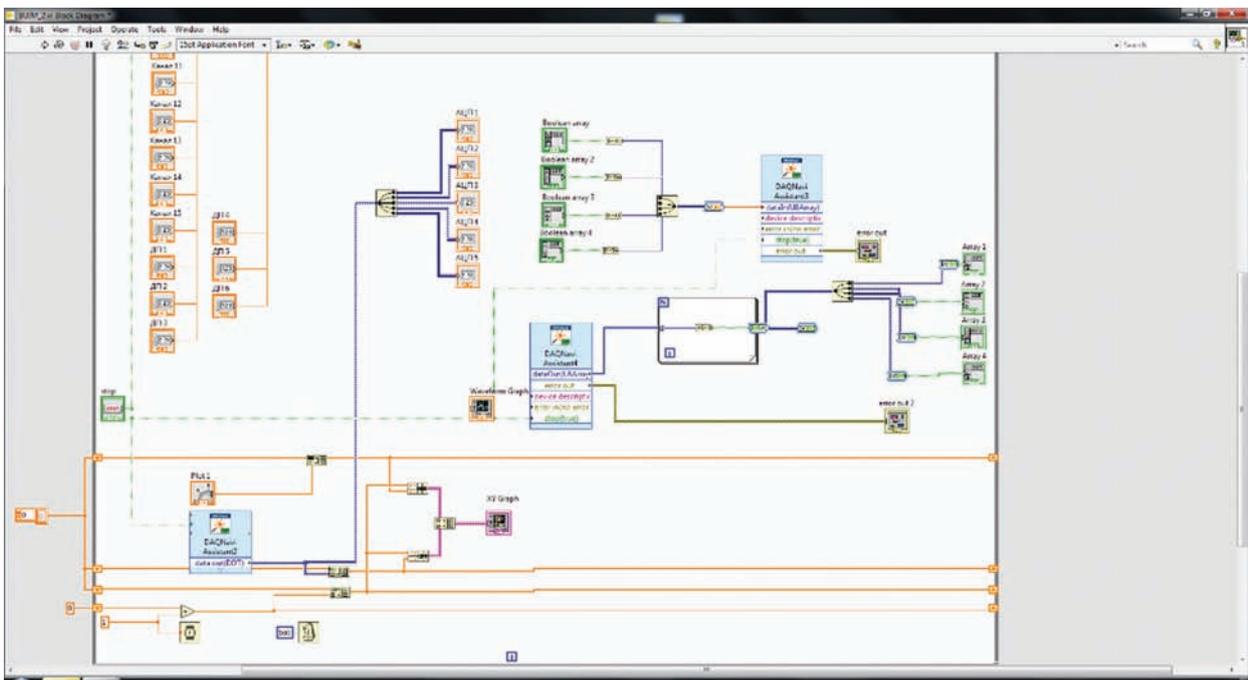


Рис. 10. Скриншот разработанного программного обеспечения

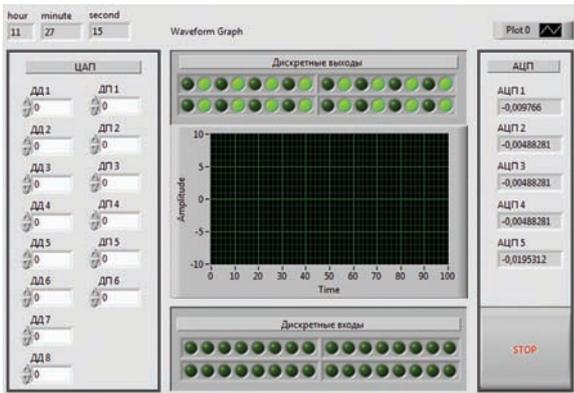


Рис. 11. Человечно-машинный интерфейс разработанного программного обеспечения

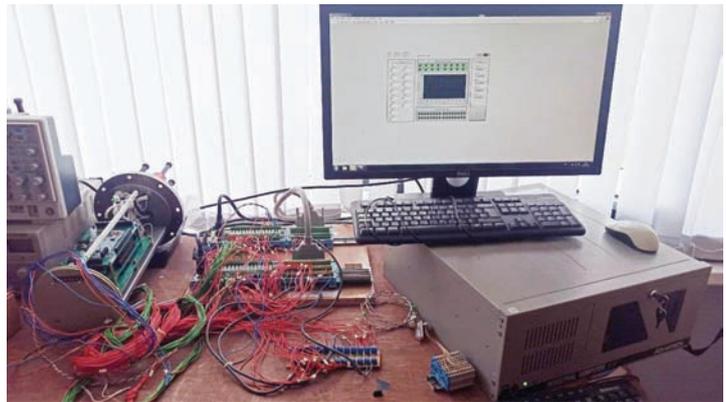


Рис. 12. Блок управления исполнительными механизмами, подключенный к стенду

В ходе работы были проведены проверки:

- 1) аппаратного функционирования блоков БУИМ;
- 2) взаимодействия БУИМ и БУП по протоколам обмена;
- 3) проверка и отладка алгоритмов работы: управление исполнительными механизмами, имитация аварийной ситуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработано программное обеспечение и проведена проверка блоков управления исполнительными механизмами.

Стенд-имитатор и использование цифровых систем имитации позволяют обнаружить технические проблемы до изготовления изделия, своевременно внося изменения в РКД еще на этапе проектирования.

С помощью LabView возможна автоматизация необходимых проверок на работоспособность.

Разработка программного обеспечения с использованием LabView для тестирования выполняется однократно и позволяет значительно ускорить процесс введения блока в эксплуатацию. ■

В Федеральном законе РФ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1] безопасность систем определена как «состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий». В том же законе дано определение сопутствующего свойству безопасности важного системного понятия «авария»: «это – разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасных производственных объектах, неконтролируемые взрывы и (или) выбросы опасных веществ». В Методических указаниях по проведению анализа риска опасных производственных объектов [2] определено понятие «риск аварии»: «это – мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на опасных производственных объектах и тяжесть ее последствий». В том же документе указано, что важными количественными показателями риска аварии среди прочих являются:

технический риск – вероятность отказа технических устройств с последствиями определенного уровня (класса) за определенный период функционирования опасных производственных объектов;

ожидаемый ущерб (полный риск) – математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии за определенное время.

Из рассмотренных понятий и определений следует, что практически все военные организационно-технические системы, такие, как, например, надводные корабли (предназначение которых – поражать объекты противника), должны быть отнесены к классу опасных производственных объектов. При этом безопасность как свойство и риски (технический и полный), как показатели безопасности имеют одно существенное отличие от свойств устойчивости сложных систем (имеется в виду надежность, стойкость, живучесть и их комбинации). Это отличие обусловлено разными множествами состояний, в которых реализуются свойства устойчивости и безопасности исследуемого системного объекта.

На рис. 1 область I представляет все множество возможных состояний системы, область R – множество состояний устойчивости, а область S – множество состояний безопасности исследуемой системы. Переходы состояний системы и в моделях ее устойчивости, и в моделях безопасности происходят в основном по одним и тем же причинам (отказы и восстановления элементов, ошибки должностных лиц управления, возникновение и воздействие поражающих факторов и т.п.). Но различаются (не совпадают) сами области состояний системы, в которых реализуются свойства устойчивости (R) и безопасности (S).

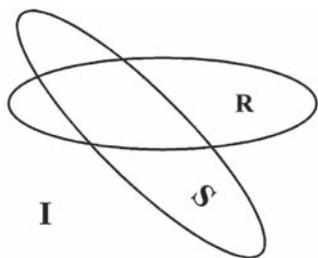


Рис. 1. Соотношение состояний устойчивости и безопасности системы

Поэтому методики применения логико-вероятностных методов и программных средств автоматизированного структурно-логического моделирования для решения задач анали-

ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КОРАБЕЛЬНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КОМПАНИИ «МКС»

*П.А. Зубков, канд. техн. наук, член Совета директоров
ООО «Морские комплексные системы»,
контакт. тел. (812) 441 2401, info@mcs-spb.com*

за безопасности подобны уже изученным методикам анализа свойств устойчивости структурно-сложных системных объектов. Различия касаются главным образом только содержания отдельных разделов этапа формализованной постановки задачи анализа безопасности системы – формулировки цели моделирования, определения состава элементов, выбора подходов и форм разрабатываемой схемы функциональной целостности, а также видов задаваемых логических критериев функционирования исследуемой системы.

Так, при формулировке задачи моделирования и расчета характеристик безопасности структурно-сложного системного объекта должны учитываться прежде всего цели такого анализа. Эти цели могут быть двух видов [3]:

- моделирование и оценка текущего уровня безопасности объекта, например, технического риска – вероятности возникновения (невозникновения) аварийной ситуации (пожара в корабельных помещениях) или аварии с последствиями определенного уровня в рассматриваемом интервале времени функционирования системы;
- моделирование процессов развития возможных видов аварий на опасных производственных объектах (надводных кораблях) и оценка возможных последствий для выработки и обоснования предложений по минимизации ожидаемого ущерба.

Практическая реализация указанных двух целей является, по существу, использованием общего логико-вероятностного метода, теории и технологии автоматизированного структурно-логического моделирования для научного прогнозирования возможности возникновения пожаров в корабельных помещениях и уровня последствий таких пожаров на кораблях, разработанных профессором Военно-морской академии им. Н.Г. Кузнецова А.С. Можаявым [3].

Впервые концепция логико-вероятностной теории безопасности была предложена профессором ВМА И.А. Рябининым в 1977 г. и в настоящее время опубликована в большом количестве трудов, таких, как, например, [4, 5]. Основой логико-вероятностной теории безопасности является понятие опасного состояния системы (ОСС) и соответствующая ему логическая функция ОСС. Переход в ОСС может привести к гибели людей или какому-либо ущербу в неприемлемых масштабах, не предусмотренному нормальными условиями эксплуатации или использования корабля. В логико-вероятностной теории безопасности для каждого конкретного анализа безопасности требуется: составить сценарий ОСС путем перебора возможных комбинаций состояний элементов системы или инициирующих ОСС событий, приводящих к его возникновению.

Например, брошенный окуроч в урну в каюте инициирует возгорание урны. Позже, в случае его обнаружения, происходит возгорание письменного стола, под которым расположена урна, затем возгорание перерастает в объемный пожар, охватывающий всю каюту. В качестве пожарной нагрузки в

каюте служит вся остальная мебель, а также одежда, бумага, постельные принадлежности, личные вещи и т.п. Через некоторое время пожар через металлические переборки распространяется на смежные каюты и охватывает несколько помещений. Подобная ситуация произошла на эскадренном миноносце «Осмотрительный» в августе 1989 г., когда в результате брошенного окурка в урну старшим помощником командира корабля произошло возгорание в каюте №13, которое переросло в объемный пожар, распространившийся в смежные каюты, в результате которого полностью выгорели каюты №11, 13, 15. Пожар был локализован и потушен личным составом корабля и средствами береговой пожарной охраны.

К сожалению, на флоте описанная ситуация не единична, аналогичный случай имел место 6 июля 2014 г. на эсминце Балтийского флота «Настойчивый» пр. 956, тогда произошел пожар в каюте №19 вследствие курения в ней инженера БЧ-7, сменившегося с вахты [6, 7]. Офицер прибыл в каюту, выкурил сигарету, окурок от которой потушил в пепельнице, а затем содержимое пепельницы высыпал в пластмассовое мусорное ведро, расположенное под письменным столом, где находилась использованная бумага, и лег спать. Проснувшись от запаха гари и увидев, что вся каюта сильно задымлена, офицер покинул помещение. Очаг возгорания возник в районе письменного стола каюты №19 от воспламенения использованной бумаги от окурка сигареты, находящейся в мусорном ведре, после чего огонь распространился на письменный стол, обшивку переборки в районе установки письменного стола и подволока.

Последствия происшествия (рис. 2) [7]:

- повреждена обшивка подволока и переборок каюты №19;
- выгорели письменный стол, электрическая розетка над письменным столом, настольный светильник;
- повреждены обшивка умывальника и раковина, шкафы для хранения документации и формы одежды, палубное покрытие, выведены из строя два светильника дневного освещения и их соединительные кабели;
- повреждены изоляция внешних кабелей сети освещения тамбура №18; кабель-трассы, проложенные под подволоком помещения; плафоны светильников.



Рис. 2. Последствия пожара в каюте №19 эскадренного миноносца «Настойчивый»

Аналогичная ситуация произошла также на атомном ледоколе «Арктика» 8 апреля 2007 г., где от открытого огня парафиновой свечи сначала воспламенились шторы в каюте, затем возник большой объемный пожар, который распространился на весь жилой блок, полностью выгорели три каюты и вышел из строя один из электрораспределительных щитов, экипаж справился с пожаром своими силами, жертв и пострадавших нет [8].

27 ноября 2014 г. в результате нарушения мер электробезопасности личным составом произошло возгорание в каюте личного состава на спасательном морском буксире СБ-921 пр. 712 Балтийского флота [6, 7]. На буксире шел ремонт линии вала в плавучем доке ПД-2 ОАО ПСЗ «Янтарь». Причиной возгорания стало короткое замыкание в цепи питания бытового электрочайника, оставленного без присмотра мотористом судна. Объем причиненного ущерба составил 500 тыс. руб. В результате пожара пострадало электрическое оборудование каюты №308, получили термические повреждения внешняя изоляция участков кабельных трасс, электрооборудование сети освещения, зашивки подволока и декоративной обшивки коридора главной палубы и кают №306 и №310 (рис. 3). Вышли из строя сети освещения, общесудовая громкоговорящая связь, тепловые детекторы противопожарной сигнализации коридора главной палубы и кают левого борта [6, 7].



Рис. 3. Последствия пожара в каюте морского буксира СБ-921

В отдельных случаях причинами возгораний и пожаров может быть горючая теплоизоляционная обшивка. Так, 3 июля 2017 г. на ракетном катере Р-18 пр. 12411 Тихоокеанского флота при выполнении ракетной стрельбы после схода крылатой ракеты с пусковой установки произошло возгорание теплоизоляционной обшивки переборки с внутренней стороны в агрегатной артиллерийских установок АК-630М №1, №2 под воздействием давления и высоких температур от форса пламени стартового двигателя ракеты через микротрещину в ребре жесткости с наружной стороны надстройки [7]. В результате возгорания теплоизоляции привело к возникновению пожара в агрегатной, что привело к выводу из строя [8]:

- двух выпрямителей агрегатных ВАКС-1-30;
- двух фильтров выносных блока управления к ВАКС-1-30;
- двух баков охлаждения АК-630М с электродвигателями и насосами;
- одного пускателя электрического ПММД 1112;
- прогорела переборка между агрегатной и барбетом артиллерийской установки АК-630М №1 размером 30×30 см и др.

Как выше указывалось, в логико-вероятностной теории безопасности для каждого конкретного анализа безопасности требуется: составить сценарий ОСС путем перебора его возможных комбинаций или инициирующих ОСС событий, приводящих к его возникновению. Составим такой сценарий для оценки пожарной безопасности жилых помещений на примере одноместной каюты офицеров (рис. 4 и табл. 1) по аналогии с ситуациями возникновения и развития пожаров в каютах, описанными выше.

В числе неблагоприятных событий (логических критериев перехода системы в опасное состояние) следует считать:

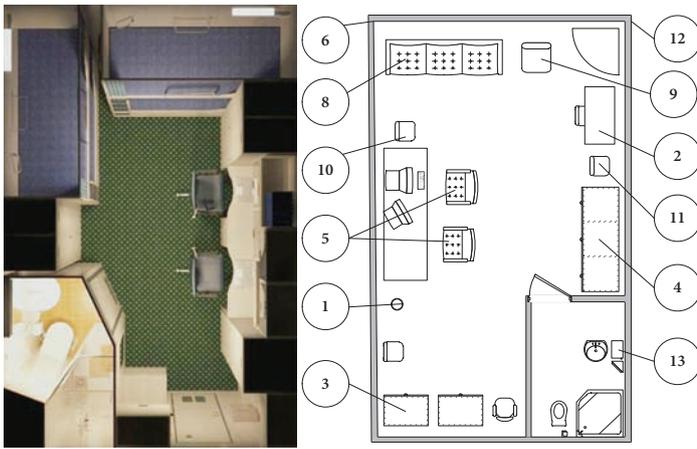


Рис. 4. Схема расположения мебели и оборудования в одноместной каюте (вид сверху)

Таблица 1
Перечень и характеристики оборудования и мебели в одноместной каюте

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол-во	Вес ед., 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

– вероятность развития большого объемного пожара $Y_1 = P_{\text{пож}}(t)$ в каюте при достоверном возникновении возгорания мусорного ведра, заполненного использованной бумагой;

– вероятность распространения $Y_2 = P_{\text{распр}}(t)$ большого объемного пожара в каюте в смежные с ней помещения.

К числу благоприятных событий (логических критериев противопожарной безопасности (не перехода системы в опасное состояние)) отнесем:

– вероятность затухания пожара в источнике $Y_3 = P_{\text{зат}}(t)$ (неперерастания в большой объемный пожар);

– вероятность нераспространения большого объемного пожара в каюте в смежные помещения $Y_4 = P_{\text{нераспр}}(t)$.

На основе информации, представленной в [6 – 8], будем исходить из того, что в качестве сценария развития неблагоприятных (благоприятных) событий в плане опасности возникновения и развития пожара в отдельной каюте следует считать:

– возгорание пластмассового мусорного ведра 1 с использованной бумагой, расположенного под письменным столом, в результате высыпания в него содержимого пепельницы (брошенного окурка и т.п.). Если возгорание мусорного

ведра произошло, то его системная функция (сохранять устойчивость к термическому воздействию) не выполнена – y_1 , или наоборот, если не произошло, то системная функция реализована – y_1 ;

– от возгорания мусорного ведра 1 происходит возгорание письменного стола 2 (y_2). Если возгорания стола 2 не происходит y_2 , то это означает, что стол сохранил устойчивость к термическому воздействию от горящего мусорного ведра;

– от возгорания письменного стола 2 происходит возгорание шкафа 3 (y_3) и кресел 5 (y_5). Если возгорание шкафа 3 и кресел 5 не происходит (y_3, y_5) то это свидетельствует о сохранении ими устойчивости;

– от возгорания шкафа 3 происходит возгорание шкафа 4 (y_4), в противном случае шкаф 4 сохраняет устойчивость к термическому воздействию (y_4);

– от суммарного возгорания письменного стола 2, шкафа 3 и 4, кресел 5 развивается большой объемный пожар в каюте, пламя распространяется на обшивку переборки 6, вызывая ее возгорание (y_6) и термическое повреждение. В случае, если переборка каюты выдерживает термическое воздействие, то считается, что она сохранила устойчивость (y_6).

– в результате развития объемного пожара в каюте происходит воспламенение остального оборудования: диванов 8 и 9 (y_8, y_9), стола преддиванного 10 (y_{10}) и тумбы прикроватной 11 (y_{11}), увеличивая таким образом общую пожарную нагрузку. Если перечисленное оборудование каюты не воспламеняется, то считается, что оно сохранило устойчивость к воздействию большого объемного пожара (y_8, y_9, y_{10}, y_{11}).

– большой объемный пожар в каюте воздействует также на обшивку переборки 12, вызывая ее возгорание y_{12} и термическое повреждение. Если переборка 12 выдерживает термическое воздействие, то считается, что она сохраняет устойчивость (y_{12}).

– в результате достижения среднеобъемной температуры пожара более 480 °С, происходит активная теплопередача через переборки 6, 12 (y_6, y_{12}) в смежные помещения и распространение в них пожара. Если переборки сохраняют устойчивость к указанному термическому воздействию (y_6, y_{12}), то распространение пожара в смежные помещения не происходит.

Ниже, на рис. 5, представлена структурная схема описания условий развития большого объемного пожара в каюте и его распространения в смежные помещения. Это принципиально новое, логически универсальное графическое средство структурного представления исследуемых свойств системных объектов – схема функциональной целостности (СФЦ), используемая в автоматизированной системе структурно-логического моделирования сложных систем, разработанная профессором ВУНЦ ВМФ «ВМА» А. С. Можаяевым. [3].

Каждая структурная схема исследуемого свойства системы, представленная с помощью СФЦ, является графической формой задания аналитической системы логических уравнений, которые в совокупности отражают все логические условия реализации прямых выходных функций каждой вершины. Поэтому СФЦ и системы логических уравнений математически тождественны друг другу. Однако в практическом моделировании (при постановке задач) пользователю удобнее и проще сначала построить структурную схему исследуемой системы, а уже потом соответствующую систему логических уравнений.

Ниже, в табл. 2, представлены условные обозначения, используемые при разработке СФЦ, а в табл. 3 – логические условия реализации системных функций каждой вершиной, логические критерии перехода системы в «опасное» состояние и критерии противопожарной безопасности [4].

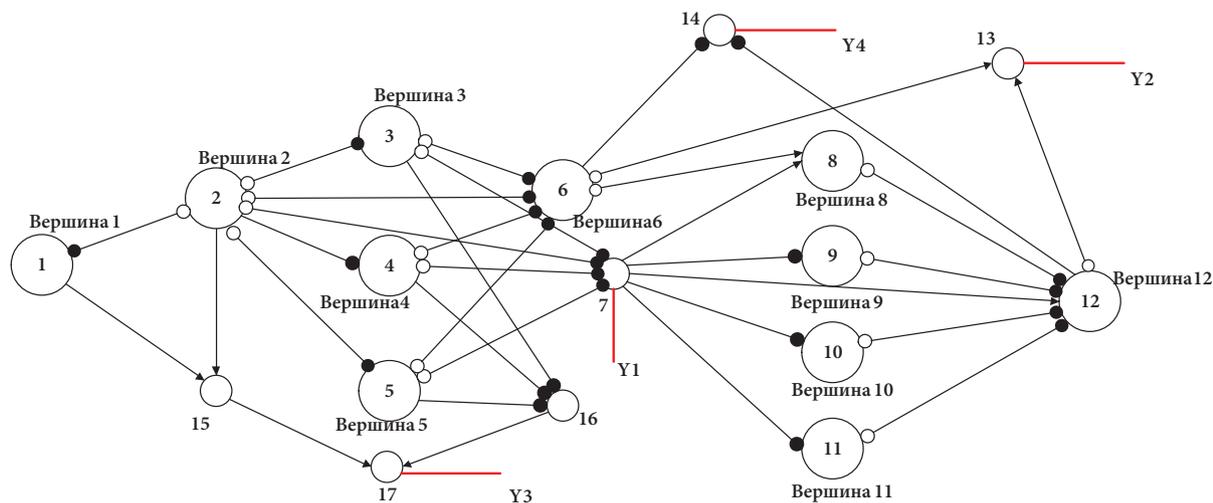


Рис. 5. Схема функциональной целостности при описании условий развития большого объемного пожара в каюте и его распространения в смежные помещения

Таблица 2

Условные обозначения, используемые в СФЦ

Обозначение	Наименование	Предназначение
	Функциональная вершина	Графическое обозначение одного из двух возможных исходов простого (бинарного) случайного события, сопоставленного элементу исследуемой системы. В данном случае сохранения устойчивости y_1 к возгоранию элементом 1, или несохранения устойчивости к возгоранию (возгорание элемента 1) y_1 .
	Фиктивная вершина	Параллельные функции обеспечения объединяются не на функциональных вершинах, а в некоторых промежуточных точках соединения дуг структурной схемы. Условие реализации системной функции несколькими элементами.
	Дизъюнктивная дуга	Направленность функционального подчинения между связанными этой дугой вершинами СФЦ и логический оператор «ИЛИ».
	Конъюнктивная дуга	Направленность функционального подчинения между связанными этой дугой вершинами СФЦ и логический оператор «И».
	Прямой выход из вершины	Если элемент реализует свою системную функцию (сохраняет устойчивость)
	Инверсный выход из вершины	Если элемент не реализует свою системную функцию (произошло возгорание)

Таблица 3

Логические условия реализации системных функций каждой вершиной СФЦ

Номера функциональных и фиктивных вершин (рис. 5)	Логические условия реализации системных функций каждой вершиной.
1	Головная вершина, сохранение устойчивости к возгоранию мусорного ведра.
2	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию стола письменного 2 при воздействии на него возгорания мусорного ведра.
3	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию шкафа 3 при воздействии на него возгорания письменного стола 2.
4	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию шкафа для платья 4 при воздействии на него возгорания письменного стола 2.
5	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию кресел 5 при воздействии на них возгорания письменного стола 2.
6	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию изоляции переборки и разрушению самой переборки при воздействии на нее возгорания письменного стола 2, шкафов 3 и 4, кресел 5.
7	Фиктивная вершина, обозначает логические условия возникновения большого объемного пожара в каюте, т.е. при возгорании письменного стола 2, шкафов 3, 4 и кресел 5. Логический критерий Y_1.
8	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию дивана мягкого 8 при воздействии на него пламени и термического воздействия от большого объемного пожара в каюте и от возгорания изоляции переборки 6.
9	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию дивана мягкого 9 при воздействии на него пламени и термического воздействия от большого объемного пожара в каюте.
10	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию стола преддиванного 10 при воздействии на него пламени и термического воздействия от большого объемного пожара в каюте.
11	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию тумбы прикроватной 11 при воздействии на него пламени и термического воздействия от большого объемного пожара в каюте.
12	Функциональная вершина. Сохранение устойчивости к возгоранию изоляции переборки и разрушению самой переборки 11 при воздействии на него пламени и термического воздействия от большого объемного пожара в каюте, а также от диванов 8, 9, стола 10 и тумбы 11.
13	Фиктивная вершина, обозначает логическое условия распространения пожара в смежные помещения, т.е. при разрушении переборки 6 либо переборки 12, либо обоих переборок. Логический критерий Y_2.
14	Фиктивная вершина, обозначает логическое условие нераспространения пожара в смежные помещения, т.е. при сохранении устойчивости переборок 6 и 12 при термическом воздействии на них большого объемного пожара. Логический критерий Y_4.

Логические условия реализации системных функций каждой вершиной СФЦ

Номера функциональных и фиктивных вершин (рис. 5)	Логические условия реализации системных функций каждой вершиной.
15	Фиктивная вершина, обозначает логическое условие сохранения устойчивости к возгоранию письменного стола 2, т.е. при условии, либо сохранения устойчивости стола 2 (невозгорания) к возгоранию мусорного ведра, либо при сохранении устойчивости мусорного ведра (невозгорания) к возгоранию в нем использованной бумаги.
16	Фиктивная вершина, обозначает логическое условие сохранения устойчивости к возгоранию (невозгорания) шкафов 3, 4 и кресел 5, а также изоляции переборок 6, в случае воздействия на них пламени и температуры от возгорания стола 2.
17	Фиктивная вершина, обозначает логические условия не возникновения пожара в каюте, т.е. в случае, либо не возгорания урны 1, либо не возгорания стола 2 при возгорании урны 1, либо не возгорания шкафов 3, 4, кресел 5 и изоляции переборки 6 при возгорании письменного стола 2. Логический критерий Y_3

$$\text{ЛФОС}(Y_1) = y_7 = (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_5}). \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ЛФОС}(Y_2) = y_{13} = \overline{y_6} \wedge \overline{y_{12}} = & \left[(\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3} \wedge \overline{y_6}) \wedge \right. \\ & \left. \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge \overline{y_6}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_5} \wedge \overline{y_6}) \right] \vee \\ & \left\{ \left[(\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3} \wedge \overline{y_6} \wedge \overline{y_8}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_6} \wedge \overline{y_8}) \wedge \right. \right. \\ & \left. \left. \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge \overline{y_6} \wedge \overline{y_8}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_5} \wedge \overline{y_6} \wedge \overline{y_8}) \right] \vee \right. \\ & \left. \left[(\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3} \wedge \overline{y_8}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_8}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge \overline{y_8}) \wedge \right. \right. \\ & \left. \left. \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_5} \wedge \overline{y_8}) \right] \wedge \overline{y_{12}} \right\} \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3} \wedge \overline{y_9} \wedge \overline{y_{12}}) \wedge \\ & \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3} \wedge \overline{y_{10}} \wedge \overline{y_{12}}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3} \wedge \overline{y_{11}} \wedge \overline{y_{12}}). \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{ЛФПБ}(Y_3) = y_{17} = & (y_1 \vee y_2) \vee \\ & \vee \left[(\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge y_3) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge y_4) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge y_5) \right]. \quad (3) \\ \text{ЛФПБ}(Y_4) = y_{14} = & (y_6 \wedge y_{12}) = \left[(\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_3} \wedge y_6) \wedge \right. \\ & \left. \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge y_6) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_5} \wedge y_6) \right] \wedge \\ & \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge \overline{y_8} \wedge y_{12}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge \overline{y_9} \wedge y_{12}) \wedge \\ & \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge \overline{y_{10}} \wedge y_{12}) \wedge (\overline{y_1} \wedge \overline{y_2} \wedge \overline{y_4} \wedge \overline{y_{11}} \wedge y_{12}). \end{aligned} \quad (4)$$

Далее на основе разработанных логических функций перехода системы в опасное состояние и функций противопожарной безопасности по законам теории вероятностей осуществим переход к вероятностным функциям для тех же четырех обозначенных критериев. Эту процедуру осуществляем с использованием обозначений, отличных от выходных функций пожарной опасности y_i и противопожарной безопасности y_i i -х элементов. В вероятностных функциях в качестве обозначений используются значения вероятностей выполнения указанных логических условий, соответственно p_i – вероятность сохранения устойчивости к возгоранию i -м элементом и q_i – вероятность возгорания i -го элемента. При этом подразумеваем, что $p_i + q_i = 1$, или $p_i = 1 - q_i$.

Кроме того, от логических сумм «ИЛИ» и произведений «И» в логических функциях по законам теории вероятностей перейдем к арифметическим суммам и произведениям [5]:

$$\text{ВФ}(Y_1) = P(y_7) = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5; \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{ВФ}(Y_2) = P(y_{13}) = & (q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_6) + \left\{ \left[(q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_6 \cdot q_8) + \right. \right. \\ & \left. \left. + (q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_8) - (q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_8) \right] \times \right. \\ & \left. \times q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_9 \cdot q_{10} \cdot q_{11} \cdot q_{12} \right\} - \\ & - q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_6 \cdot q_8 \cdot q_9 \cdot q_{10} \cdot q_{11} \cdot q_{12}; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \text{ВФ}(Y_3) = P(y_{17}) = & (p_1 + p_2 - p_1 \cdot p_2) + \\ & + (q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot p_6) - \\ & - (p_1 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot p_6 + \\ & + p_2 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot p_6 - \\ & - p_1 \cdot p_2 \cdot q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 \cdot p_4 \cdot p_5 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot p_6). \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{ВФ}(Y_4) = P(y_{14}) = P(y_6) \cdot P(y_{12}) = \\ = q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 \cdot q_4 \cdot q_5 \cdot q_8 \cdot q_9 \cdot q_{10} \cdot q_{11} \cdot p_6 \cdot p_{12}. \end{aligned} \quad (8)$$

ВЫВОД

Таким образом, разработанные вероятностные функции перехода системы (каюты офицеров с оборудованием) в опасное состояние или в состояние противопожарной безопасности (5) – (8) позволяют выполнять количественные расчеты вероятности наступления указанных событий. При этом в качестве исходных данных в вероятностные функции следует подставлять значения вероятностных характеристик сохранения устойчивости к пожару или неустойчивости элементов оборудования каюты и мебели. Получение указанной исходной информации справедливо называют проблемой исходных данных, решаемой путем отдельных исследований.

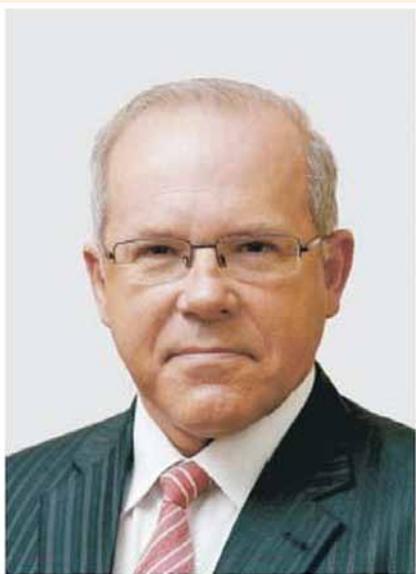
В заключение следует отметить, что использование аппарата логико-вероятностных методов в совокупности с математической моделью развития пожара в помещениях дает возможность количественно оценить вероятностные характеристики противопожарной безопасности жилых и служебных помещений корабля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» // Сб. документов «Декларирование промышленной безопасности опасных производственных объектов». – Сер. 27. – 2003. – Вып. 3. М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность» при Госгортехнадзоре Росси. – С. 5–27.
2. РД 03-418–01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов // Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. – М.: ГУП «НТЦ ПБ» Госгортехнадзора России. – 2001. – Вып. 10. – С. 60.
3. Можяев А.С. Автоматизация моделирования систем ВМФ. – В кн.: Автоматизированное структурно-логическое моделирование систем: Учеб. – Ч. 2. – СПб.: Изд. ВМА, 2006. – 577 с.
4. Рябилин И.А., Парфенов Ю.М. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электроэнергетических систем: Учеб. – СПб.: Изд. ВМА, 1997. – 432 с.
5. Рябилин И.А. Надежность и безопасность сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
6. Сборник аварий и происшествий на кораблях ВМФ за 2009 – 2015 гг. / Управление боевой подготовки ВМФ, СПб., 2015.
7. Сборник технической аварийности на кораблях и судах Военно-Морского Флота за 2013 – 2018 гг. / Техническое управление ВМФ, СПб., 2019.
8. На атомном ледоколе «Арктика» произошел пожар // Вести. – 3https://www.vesti.ru/doc.html?id=95924&cid=8 ■

К 70-ЛЕТИЮ К.Ю. ШИЛОВА

АО «Концерн «НПО «Аврора»,
контакт. тел. (812) 297 2311



В мае 2022 г. исполняется 70 лет Константину Юрьевичу Шилову, генеральному директору АО «Концерн «НПО «Аврора», руководителю крупнейшего приборостроительного объединения судостроительной отрасли России.

После окончания в 1975 г. Ленинградского института авиационного приборостроения К. Ю. Шилов поступил на работу в НПО «Аврора», где прошел все этапы от рядового инженера до генерального директора.

Многолетняя профессиональная деятельность Константина Юрьевича, инженера, ученого и крупного хозяйственника, характеризуется органичным сочетанием творческого и научного подходов. Под его руководством и при его непосредственном участии созданы первые в отечественном судостроении комплексные системы управления крупных надводных кораблей, таких как авианесущий крейсер «Адмирал Флота Советского Союза Кузнецов», атомные ракетные крейсера типа «Пётр Великий»,

большие противолодочные корабли, суда транспортного флота. Значителен вклад К. Ю. Шилова в создание десятков АПЛ третьего поколения, в том числе самого крупного ракетноносца проекта «Акула».

Генеральный директор К. Ю. Шиллов ведет большую организационную работу по обеспечению производственно-экономической деятельности концерна, в составе которого действует ряд предприятий, производящих современную цифровую технику, средства представления информации, устройства ввода/вывода и многое другое, необходимое для создания конечной продукции концерна, который сегодня успешно работает на рынке корабельных средств управления Индии, Юго-Восточной Азии.

Константин Юрьевич плодотворно сочетает практическую и хозяйственную деятельность с научными исследованиями в области автоматизации кораблей и судов. В 1983 г. он защитил кандидатскую диссертацию, в 2007 г. – докторскую диссертацию. В 2020 г. ему присвоено ученое звание профессор. При его участии сформировалась научная школа, разработавшая новую перспективную концепцию интегрированной системы управления кораблем.

Сегодня К. Ю. Шиллов вносит значительный вклад в дело подготовки нового поколения специалистов, заведует базовой кафедрой Санкт-Петербургского политехнического университета, возглавляет специальный диссертационный совет, созданный на базе АО «Концерн «НПО «Аврора».

Он – член редколлегии ряда тематических журналов, руководит секцией

Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, входит в состав президиума этого общества.

К. Ю. Шиллов – автор более 90 научных работ по теории и практике автоматизации морских объектов и обучающих центров.

Итогом целеустремленной творческой работы возглавляемого им большого коллектива АО «Концерн «НПО «Аврора» является стабильное финансово-экономическое положение предприятия, своевременное выполнение государственных заказов, способность обеспечить весь жизненный цикл высокотехнологической продукции судового приборостроения как в России, так и за рубежом.

Многогранная деятельность К. Ю. Шилова отмечена присуждением премии Правительства РФ в 2008 г. В 2007 г. ему присвоено звание «Почетный судостроитель». За особые заслуги в создании атомного подводного крейсера четвертого поколения К. Ю. Шиллов награжден орденами «За морские заслуги», «За военные заслуги».

Коллектив концерна сердечно поздравляет Константина Юрьевича Шилова с 70-летием и желает ему крепкого здоровья, благополучия, дальнейших успехов в творческой и организаторской деятельности по укреплению Российского флота!

Редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» поздравляют юбиляра со знаменательной датой и желают ему здоровья, благополучия и новых научных и производственных достижений! ■



«Северный поток-2» – новый экспортный газопровод из России в Европу по дну Балтийского моря, который обеспечит устойчивые поставки газа напрямую в страны ЕС по кратчайшему пути. Точкой входа газопровода стал район Усть-Луги Ленинградской области, далее он проходит по дну Балтийского моря и выходит на территории Германии в районе Грайфсвальда (рис. 1). Протяженность маршрута – более 1200 км [1].

Наиболее актуальными проблемами становятся контроль и диагностика газопроводов, проложенных по морскому дну, в целях обеспечения безопасности их эксплуатации и предотвращения аварий на них.

Для решения данных задач возможно использование:

- судна с экипажем, которое оснащено специальным оборудованием и телеуправляемым необитаемым подводным аппаратам (ТНПА);
- безэкипажного судна, оснащенного специальным оборудованием и ТНПА;
- автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА).

Вначале рассмотрим вариант мониторинга судном с экипажем. Данный первый вариант мониторинга позволяет:

- получаемую информацию оперативно обрабатывать членами экспедиции непосредственно на борту судна;
- передавать полученную информацию на берег в реальном времени;
- при необходимости члены экспедиции могут дообследовать тот или иной участок газопровода с помощью ТНПА;
- оперативно отреагировать на возникшую проблему для предотвращения аварий, провести ремонтные работы на газопроводе.

Это преимущества данной технологии, но существуют и недостатки:

- самостоятельное использование судна ограничено сезонностью, при наличии льда на морской поверхности (рис. 2) необходимо привлечение ледокола для обеспечения круглогодичной диагностики газопровода;
- невозможна работа судна при плохих погодных условиях (шторм и другие неблагоприятные метеосостояния) вследствие ограничений мореходности судна и применения оборудования, находящегося на нем;
- значительный расход горюче-смазочных материалов (ГСМ) при работе судна;
- значительная наработка моторесурса судна;
- в ряде случаев необходимость дорогостоящего ремонта судна;
- значительные расходы на содержание экипажа, членов экспедиции и техническое обслуживание судна.

ВАРИАНТЫ МОНИТОРИНГА ПРОТЯЖЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ПРИДОННОМ СЛОЕ, НА ПРИМЕРЕ ГАЗОПРОВОДА «СЕВЕРНЫЙ ПОТОК-2»

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



Рис. 1. Схема газопровода «Северный поток-2»



Рис. 2. Данные о ледовой обстановке Балтийского моря, актуальные на 10.02.2013 г.

На рис. 2 синим цветом разной интенсивности показана доля морской поверхности, занятой в зимний период льдом (0 баллов – чистая вода, 10 баллов – сплошной лед) [4].

Для приблизительного расчета времени выполнения диагностики одним судном газопровода по всей его подводной протяженности выбрано опытовое судно пр. 11982.

Технические характеристики судна [2]
 Макс. скорость хода, уз/км/ч 1/24
 Дальность плавания, мили/км . . . 1000/1852
 Численность экипажа, чел. . . .16 и 9 членов экспедиции

При расчете не учитывались ограничения по скорости судна при рабо-

те специального оборудования и время на его техническое обслуживание. Расчет выполнен при максимальной скорости хода судна.

Данному судну для прохождения всего маршрута в одну сторону потребуется

$$t = \frac{S}{v} = 1200 \text{ км} : 24 \text{ км/ч} = 50 \text{ ч.} \quad (1)$$

Следовательно, диагностика каждого участка этого газопровода возможна один раз в 50 часов.

Кроме того, необходимо учесть время на техническое обслуживание судна в порту и отдых экипажа перед повторным выходом в море, что, в свою очередь, приводит к увеличению времени интер-

вала между диагностиками газопровода.

Принимая это во внимание, целесообразно предложить использование нескольких подобных судов для увеличения частоты диагностики каждого участка газопровода. Но это, естественно, приведет к увеличению стоимости данного варианта мониторинга. Для примера, стоимость одного предоставленного судна составит порядка 1,5 млрд. руб. [3]

Вторым вариантом мониторинга является работа безэкипажного судна со специальным оборудованием и ТНПА (БЭС). Данный вариант мониторинга имеет те же преимущества, что и предыдущий, как и недостатки, но есть и дополнительный недостаток: необходимость наличия береговой инфраструктуры (центр управления) для управления БЭС и обработки передаваемых данных.

В данном случае для выполнения диагностики всего трубопровода «Северный поток-2» потребуется несколько БЭС, как и в предыдущем варианте, поскольку принципы технологий схожи.

Стоит отметить, что в настоящее время в мире не разрабатываются подобные специальные БЭС.

Далее рассмотрим *третий* вариант мониторинга газопровода с применением АНПА. Эта технология также имеет свои преимущества:

- ледовая обстановка, сезонность и неблагоприятные метеословия условия (шторм и др.) не влияют на работу АНПА;
- ремонт АНПА менее затратен в сравнении с затратами на ремонт судов и БЭС.

К числу недостатков следует отнести необходимость:

- наличия береговой инфраструктуры (центр управления) для управления АНПА и обработки переданных с него данных;
- наличия оборудования вдоль всего маршрута следования АНПА донных причальных устройств (ДПУ);
- привлечение специальных судов с соответствующим оборудованием для обеспечения своевременного заряда аккумуляторной батареи АНПА и передачи всех собранных данных, без чего невозможно опе-

ративно предотвращать аварии на газопроводе, вести ремонтные работы.

Рассчитаем приблизительное время, необходимое для проведения диагностики всего газопровода с помощью одного АНПА. При этом не будем учитывать подводные течения.

Для расчета были взяты следующие технические характеристики АНПА «Gavia» (стоимость АНПА – порядка 93 030 500 руб.) [5, 6]:

Скорость движения АНПА, уз/км/ч 3/5,5
Время непрерывной работы АНПА без подзарядки, ч 6
Время подзарядки аккумуляторной батареи, ч 8

Рассчитаем, какое расстояние сможет пройти один АНПА и сделать диагностику, работая под водой 6 часов:

$$S_{\text{АНПА}} = 6 \text{ ч} \times 5,5 \text{ км/ч} = 33 \text{ км.} \quad (2)$$

Для преодоления всей протяженности маршрута потребуется несколько зарядов аккумуляторной батареи АНПА с помощью ДПУ. Определим, сколько необходимо таких ДПУ:

$$1200 \text{ км} : 33 \text{ км} = 36,4 \text{ шт., или } 37 \text{ шт.} \quad (3)$$

Поскольку на каждом ДПУ АНПА будет заряжать аккумуляторную батарею и передавать собранную информацию в течение восьми часов, для прохождения всего маршрута ему потребуется

$$1200 \text{ км} : 5,5 \text{ км/ч} + (37 \text{ шт.} \times 8 \text{ ч}) = 514,2 \text{ ч.} \quad (4)$$

Рассчитаем, какое расстояние пройдет один АНПА за 50 часов (время прохождения всего маршрута судном) при условии, что он проходит 33 км за 14 часов (время непрерывной работы АНПА без подзарядки 6 часов + 8 часов подзарядки аккумуляторной батареи АНПА):

$$(50 \text{ ч} : 14 \text{ ч}) \times 33 \text{ км} = 115,5 \text{ км.} \quad (5)$$

Зная это, можно рассчитать, какое количество АНПА потребуется для прохождения всего маршрута (1200 км):

$$1200 \text{ км} : 115,5 \text{ км} = 10,38 = 11 \text{ ед.} \quad (6)$$

Получается, что это количество АНПА потребуется для прохождения и диагностирования всего газопровода за 50 часов. Стоит отметить, что использование 11 АНПА позволит обес-

печить цикличность и увеличить частоту диагностики каждого участка «Северного потока-2».

Далее сравним стоимость судна и АНПА: стоимость 11 АНПА порядка $93\,030\,500 \times 11 = 1\,023\,335\,500$ руб., а судна – $1\,500\,000\,000$ руб.

При этом не были учтены:

- затраты на привлечение ледокола при использовании судна вне сезона,
- расходы на заработную плату экипажа судна, членов экспедиции и операторов береговой инфраструктуры, стоимость ГСМ судна,
- расходы на обслуживание АНПА и судов,
- затраты на ДПУ и береговую инфраструктуру.

Вывод: рассмотрев три варианта мониторинга газопровода, можно предположить, что использование АНПА с этой целью наиболее эффективно и выгодно, так как возможна более частая диагностика каждого участка маршрута, что важно для безаварийной эксплуатации газопровода, его охраны и сохранения экологии морской среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газопровод «Северный поток-2» /Газпром. – URL: <https://www.gazprom.ru/projects/nord-stream2/> (дата обращения 20.05.2021).
2. Третье опытовое судно проекта 11982 //Живой журнал (LiveJournal). – URL: <https://sdelano-u-nas.livejournal.com/7052773.html> (дата обращения 20.05.2021).
3. Отечественная военная техника (после 1945 г.). Пр.11982 «Селигер». – Дата обновления 18.12.2013 URL: <http://militaryrussia.ru/blog/topic-575.html> (дата обращения 20.05.2021).
4. Опубликованы данные ЕСИМО о ледовой обстановке в Балтийском море и Финском заливе 10–11 февраля /Российская палата судоходства. – Дата обновления 11.02.2013. URL: <https://russian-shiping.ru/ru/service/news/?id=11280> (дата обращения 20.05.2021).
5. Цариченко С.С. АНПА Gavia – подводный исследователь // Гидротехника. – 2011. – № 2 (22). – С. 112.
6. Министерство обороны России закупает подводные аппараты Gavia: Новости ВПК. – Дата обновления 03.02.2012. URL: https://vpk.name/news/64253_ministerstvo_oborony_rossii_zakupayet_podvodnye_apparaty_gavia.html (дата обращения 20.05.2021) ■

Существующая методика расчета нормативных показателей основана на среднестатистической оценке выполнения отдельных элементов личным составом штурманской службы (средний оценочный балл – 4,15) по критерию времени и/или точности [1]. Вместе с тем применяемые нормативы должны адекватно учитывать возрастной потенциал военнослужащего, текущий уровень подготовки и стимулировать его дальнейшее повышение.

Основным руководящим документом, определяющим точностные и временные нормативы решения задач кораблевождения и обеспечения безопасности плавания, а также выполнения отдельных элементов функциональных обязанностей личным составом штурманских боевых частей являются «Правила штурманской подготовки ВМФ» [1]. Реализованное в этой статье научно-обоснованное определение нормативных показателей времени позволит объективно оценивать качество выполнения своих обязанностей личным составом штурманской службы, оказывать существенное влияние на состояние боевой готовности боевой части и корабля в целом.

Нормативные показатели специальной подготовки служат для оценки практических навыков личного состава, в том числе штурманской службы, выполнения функциональных обязанностей и обслуживания технических средств. При этом они должны удовлетворять следующим требованиям:

- иметь заданный уровень точности;
- учитывать различные условия выполнения нормируемых элементов и их специфику;
- оцениваться количественно;
- носить объективный характер и стимулировать дальнейшее повышение уровня боевой подготовки;
- соответствовать в полной степени требованиям руководящих документов.

Первое требование учитывается при установлении допустимых погрешностей нормативов с учетом заданной точности и объективно неизбежной вариации нормативов, обеспечивается путем применения математически обоснованных методов сбора исходных данных и установления нормативных зависимостей. Второе требование означает необходимость исчерпывающего описания вариантов и условий выполнения оцениваемых элементов. Каждому из вариантов должны соответствовать значения нормативов или поправочных коэффициентов к нормативам для базового варианта.

Отработка нормативных показателей в целях поддержания и улучшения достигнутых результатов проводится в

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОРАБЛЕВОЖДЕНИЯ И БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ

*П. С. Войцеховский, преподаватель,
И. С. Гарматенко, канд. техн. наук, доцент,
Военно-морской институт ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
контакт. тел. +7 (905) 208 1903, Pavel.Voitcekhovskii@steor.tech*

течение всего года, в дни и часы, предусмотренные расписанием, а также при отработке специальных задач как в базе, так и в море [2]. Нормативные показатели личного состава штурманских боевых частей оцениваются:

- при проведении тренировок непосредственным начальником;
- не реже 1 раза в квартал командиром корабля и флагманским штурманом соединения в учебных кабинетах и на выходах в море, а также по результатам выполнения боевых упражнений и задач боевой службы;
- при приеме специальных задач, проведении состязаний по специальности, сдаче экзаменов на классность у всего личного состава БЧ-1.

Особое внимание уделяется нормативам, которые способствуют совершенствованию организации повседневной службы на корабле и являются одним из критериев при оценке ее состояния. Индивидуальные нормативы составляются на основании боевых и эксплуатационных инструкций, типовых корабельных расписаний. В об-

щем случае с их учетом должно оцениваться время приготовления к работе технических средств того или иного заведования; время предусмотренных измерений и их точность; время перезапуска на резервные режимы работы и устройства; время выполнения каких-либо действий, входящих в обязанности, и т.п.

В основе определения и оценки статистических временных показателей заложены вероятностные коэффициенты появления оценок для нормального закона распределения случайной величины:

- «отлично» – $P5 = 0,45$;
- «хорошо» – $P4 = 0,30$;
- «удовлетворительно» – $P3 = 0,20$;
- «неудовлетворительно» – $P2 = 0,05$.

Средний оценочный балл при таком распределении оценок составляет 4,15. Расчет соотношения «оценка–время» нормативных значений проводится по табл. 1. Примерные нормативы времени обслуживания морских средств навигации (МСН) и оценки их выполнении приведены в табл. 2.

Таблица 1

Соотношение «время–оценка»

Оценка	Соотношение времени
Отлично	$T \leq T_n - 0,1\sigma_T$
Хорошо	$T_n - 0,1\sigma_T < T \leq T_n + 0,7\sigma_T$
Удовлетворительно	$T_n + 0,7\sigma_T < T \leq T_n + 1,6\sigma_T$
Неудовлетворительно	$T_n + 1,6\sigma_T < T$

Здесь T_n – среднее время решения задачи, принятое за норматив; σ_T – среднее квадратическое отклонение времени решения задачи от норматива; T – фактическое время решения задачи.

Таблица 2

Примерные нормативы обслуживания МСН и оценки за их выполнение

Действие	Оценка		
	Отлично	Хорошо	Удовлетворительно
Подготовка и пуск гирокомпаса типа «Курс», мин.	20	25	30
Ускоренное приведение гирокомпаса типа «Курс» в меридиан с точностью 1°, мин.	60	70	80
Замена чувствительного элемента гирокомпаса типа «Курс» без замены поддерживающей жидкости, ч	3,0	3,5	4,0
Замена приемной трубки лага, мин.	10	12	15
Установка и смена масштаба на планшете автопрокладчика, мин.	2	3	4
Смена карты на планшете автопрокладчика, мин.	3	4	5
Замена ленты самописца эхолота, мин.	5	7	10

Вместе с тем существующая методика расчета нормативных показателей и оценки уровня подготовки военнослужащего не учитывает его возрастной потенциал, период и уровень подготовки.

В данном случае предлагается расширенная методика расчета нормативных показателей и оценки уровня подготовки как курсантов военно-морских учебных заведений, так и личного состава штурманской боевой части, ориентированная на оценку операций, выполняемую исходя из уровня подготовки и возраста военнослужащего (срока обучения).

Процесс формирования профессиональных навыков и выработки автоматизма в действиях личного состава характеризуется числом выполненных отдельных операций и интенсивностью снижения затрат времени на это, которую можно выразить через коэффициент интенсивности освоения $K_{И}$ в зависимости от уровня, достигаемого военнослужащим при сдаче экзаменов на присвоение (подтверждение) уровня классной квалификации [4]. Данный коэффициент адекватно отражает уровень развития профессиональных навыков в действиях личного состава. Наиболее целесообразно рассматривать приобретение профессиональных навыков в период прохождения военной службы по этапам – от допуска к самостоятельному исполнению обязанностей до сдачи на классную квалификацию (подтверждение уровня классной квалификации).

Возрастной коэффициент $K_{В}$ характеризует снижение физической работоспособности военнослужащих с 30-летнего возраста. Значения этого коэффициента в зависимости от уровня физической нагрузки выполняемой операции представлены в табл. 3.

Расчет нормативов времени включает три основных этапа [2].

Первый этап – проведение наблюдений и измерение затрат времени на выполнение операции или ее элементов, осуществляемое путем регистрации этих результатов с учетом нарушений в условиях неполадок или ошибок самого наблюдателя. Контроль времени может выполняться непрерывным или выборочным способами. Непрерывный способ предполагает определение вре-

мени выполнения всех элементов (операций), следующих один за другим. В этом случае фиксируется текущее время окончания каждого элемента и время выполнения операции в целом. Выборочный способ применяется для снятия отдельных нормативов, а также при повторном проведении вместо забракованных замеров.

На *втором этапе*, используя методы математической статистики и теории вероятности, обрабатывают и анализируют данные наблюдений, определяют средние и доверительные интервалы.

Третий этап заключается в анализе результатов наблюдений, на основании которого определяется оперативное время выполнения элементов (операций) и величины исходных данных для разработки нормативов.

Если при снятии нормативных показателей участвовал личный состав различной возрастной группы и различного уровня подготовки, необходимо значение времени привести к базовому уровню. Для этого применяют возрастной коэффициент $K_{В}$, исходя из уровня физической нагрузки упражнения и классной квалификации (для специалистов 3-го, 2-го, 1-го классов и мастера отдельно, до 30 лет):

$$\bar{T}_{Фж} = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} T_{1i}}{n_1} - \frac{\sum_{i=1}^{n_1} T_{1i}}{n_1} K_{В1} + \frac{\sum_{i=1}^{n_2} T_{2i}}{n_2} - \frac{\sum_{i=1}^{n_2} T_{2i}}{n_2} K_{В2} + \frac{\sum_{i=1}^{n_3} T_{3i}}{n_3} - \frac{\sum_{i=1}^{n_3} T_{3i}}{n_3} K_{В3}, \quad (2)$$

где $T_{Фж}$ – затраты времени на выполнение элемента (операции) с учетом формирования профессиональных навыков при повышении уровня классной квалификации.

Выполняется расчет коэффициента интенсивности $K_{И}$ для различного уровня классной квалификации (для специалистов 2-го, 1-го классов и мастера отдельно):

для специалиста 2-го класса

$$K_{И2} = \frac{\bar{T}_3 - \bar{T}_2}{\bar{T}_3};$$

для специалиста 1-го класса

$$K_{И1} = \frac{\bar{T}_3 - \bar{T}_1}{\bar{T}_3};$$

для мастера $K_{ИМ} = \frac{\bar{T}_3 - \bar{T}_М}{\bar{T}_3}$.

Таблица 3

Значения возрастного коэффициента $K_{В}$ в зависимости от уровня физической нагрузки выполняемой операции

Возраст, число лет	Уровень физической нагрузки выполняемой операции			
	Пониженный	Средний	Высокий	Очень высокий
30–39	0,06	0,07	0,07	0,08
40–49	0,14	0,15	0,16	0,17

Исходя из рассчитанных коэффициентов, вычисляют значения базового уровня и среднего базового времени выполнения норматива:

$$T_{П} = T_i - T_i (K_{И} + K_{В}). \quad (3)$$

Статистическая обработка результатов выполнения упражнений проводится с целью исключения тех из них, которые содержат грубые погрешности. Величина t_p , доля которой может достигать 10–15% от общего числа измерений [3]:

$$t_p = \frac{|T_i^* - \bar{T}|}{S}, \quad (4)$$

где T_i^* – оцениваемое значение измеряемого времени выполнения норматива; \bar{T} – среднее значение измеряемого времени выполнения норматива; S – среднее квадратическое отклонение измеряемого времени выполнения норматива:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}. \quad (5)$$

Грубые погрешности исключают методом последовательных приближений к условию $t_p < t_{кр}$, где $t_{кр}$ – коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности $P_d = 0,95$ и определяемый по табл. 4. Такая оценка данного показателя не будет содержать грубой погрешности, поэтому проверку достоверности полученных значений можно прекратить. Если $t_p > t_{кр}$, то значение содержит грубую погрешность, и его необходимо исключить. Остальные значения будут считаться статистически достоверными. Критерий $t_{кр}$ служит для проверки больших отклонений [3].

Таблица 4

Значение коэффициента Стьюдента, соответствующего доверительной вероятности $P_d = 0,95$

Число измерений	5	7	10	12	16	20	40	∞
$t_{кр}$	3,0	2,7	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,96

Для установки норматива должно быть проведено достаточное количество измерений времени, т.е. выполняться равенство $n_{тп} \geq n_{ф}$:

$$n_{тп} = \frac{t_{кр}^2 S^2}{\varepsilon}, \quad (6)$$

где Σ – ошибка эксперимента, принимаемая равной 10 %;

$$\tau_{И} = \tau_i \pm \Delta\tau_i, \quad (7)$$

где $\Delta\tau_i$ – доверительный интервал, определяемый по формуле

$$\Delta\tau_i = \frac{t_{кр} S}{\sqrt{n_{ф}}}. \quad (8)$$

Норматив времени выполнения задачи личным составом может быть рассчитан по табл. 5.

Соотношение «время–оценка», учитывающая уровень освоения и возраст военнослужащего

Таблица 5

Уровень	Оценка	Соотношение времени
Мастер	Отлично	$T \leq T_n - 0,5\sigma_t + (K_B - K_W)T_n$
1-й разряд	Отлично	$T \leq T_n - 0,1\sigma_t + (K_B - K_W)T_n$
2-й разряд	Хорошо	$T_n - 0,1\sigma_t + (K_B - K_W)T_n < T \leq T_n + 0,7\sigma_t + (K_B - K_W)T_n$
3-й разряд	Удовлетворительно	$T_n + 0,7\sigma_t + (K_B - K_W)T_n < T \leq T_n + 1,6\sigma_t + K_B T_n$
Неудовлетворительно		$T_n + 1,6\sigma_t + K_B T_n < T$

Образец таблицы нормативов личного состава

Таблица 6

Норматив	№1			
	Время			
Уровень классной квалификации	3-й	2-й	1-й	Мастер
Оценка	3	4	5	
Возраст:				
До 30	1 мин. 10 с	1 мин. 0 с	50 с	45 с
30–39	1 мин. 15 с	1 мин. 10 с	1 мин. 0 с	50
40–49	1 мин. 20 с	1 мин. 15 с	1 мин. 10 с	1 мин. 0 с

Примерный образец таблицы нормативов личного состава для оценки уровня профессиональных навыков представлен в табл. 6.

В заключение следует отметить роль отработки нормативов при штурманской подготовке боевой части корабля и штурманской службы соединения и

необходимости объективной оценки их боеготовности. Использование предлагаемой модели определения нормативов позволит рассчитывать конкретный численный показатель степени боевой готовности как отдельного специалиста, так и корабля в целом, что будет стимулировать творческую направленность их работы и позволит с большей точностью определять направление сосредоточения управленческих воздействий. Реализация данной методики при подготовке курсантов в военном учебном заведении способствовала значительному повышению уровня их подготовки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила штурманской подготовки надводных кораблей военно-морского флота. (ПШП НК ВМФ-2003). – М.: Воениздат, 2004. – 168 с.
2. Гарматенко С.И., Гребнев Ю.М. Штурманская служба – Ч. 2: Подготовка штурманской службы к выходу в море и обеспечение навигационной безопасности плавания: учеб. пособие. – СПб.: Изд. ВСОК ВМФ, 2006. – 188 с.
3. Груздев Н.М. Навигационная безопасность плавания: учеб. пособие. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. – 211 с.
4. Тубинский А., Хребтов А., Ратков В. Выработка нормативных показателей для штурманских боевых частей // Морской сборник. – 1977. – № 4. – С. 59 – 64. ■



В прошлом году в издательстве «Мор Вест» вышел в свет учебник, подготовленный профессором, Почетным доктором СПбГМТУ Р.Н.Караевым. В нем подробно рассмотрена роль подводно-технического обслуживания в освоении морских нефтегазовых месторождений. Приведена классификация подводного инженерно-технического обслуживания морских нефтепромыслов по видам работ, а также подводных робототехнических аппаратов.

Изложены основные принципы формирования комплексной системы подводно-технического обслуживания

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПОДВОДНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Р.Н. Караев. Техника и технология подводного обслуживания морских нефтегазовых сооружений: Учеб. для вузов / Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН Л.И. Лобковский, канд. техн. наук Б.Я. Розман, канд. воен. наук А.В. Курсаков. – СПб.: Мор Вест, 2021. – 424 с.

морских нефтепромыслов, включающей использование водолазной техники, глубоководных водолазных комплексов и подводных аппаратов.

Проанализированы технико-эксплуатационные характеристики современной водолазной техники и подводных аппаратов и даны рекомендации по их использованию в процессе освоения морских нефтегазовых месторождений. Рассмотрена технология раскрепления различных типов добычных платформ и установок на рабочей точке в море.

С учетом специфики освоения морских нефтегазовых месторождений освещен широкий спектр подводно-технических работ, проводимых на акватории морских нефтепромыслов, с применением современных подводных технических средств.

Широко освещены инновационные подводные технологии освидетельствования и мониторинга подводных конструкций и коммуникаций с использованием ТНПА и гидроакустических средств обследования. Приведены основные схемы подводных/подледных эксплуатационных систем и требования к их формированию.

Учебник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей высших учебных заведений соответствующего профиля, а также для широкого круга научных и инженерных работников судостроительной, нефтяной и газовой промышленности. К сожалению, тираж учебника всего 350 экз.

Воспроизведение (репродуцирование) книги любым способом полностью или частично без письменного разрешения автора запрещается. ■

Пятьдесят лет назад в январе 1972 г. приказом министра судостроительной отрасли Бориса Евстафьевича Бутомы Ново-Адмиралтейский (более известный как Судомех) и Адмиралтейский заводы были объединены в крупнейшее в стране судостроительное предприятие – Ленинградское Адмиралтейское объединение. Это название на долгие годы стало визитной карточкой советского судпрома, и сегодня АО «Адмиралтейские верфи» с честью продолжает его производственные традиции, заложенные в том далеком году.

Объединению двух предприятий предшествовала новая в Советском Союзе практика слияния производств. Еще в 1965 г. по инициативе Ленинградского областного комитета КПСС были впервые образованы крупные производственные объединения «Светлана» и Оптико-механическое. Опыт показал, что подобная практика позволяет расширить специализацию производства, провести комплексную модернизацию, создать мобильную систему управления и сократить управленческий аппарат.

Так произошло и с Ново-Адмиралтейским и Адмиралтейским заводами. Генеральным директором ЛАО стал Виктор Николаевич Дубровский.

ОДИН + ОДИН = ОДИН

Для советского судостроения опыт слияния двух предприятий был новым. На момент объединения оба завода успешно выполняли свою производственную программу.

В 1961–1971 гг. Адмиралтейский завод построил большую серию (14 ед.) плавучих крабоборькоконсервных заводов типа «Андрей Захаров», которая стала основой рыбоперерабатывающего флота страны; уникальную промысловую базу «Восток»; приступил к созданию рыбоперерабатывающих баз нового поколения пр. 413. Одновременно и в рекордно короткие сроки предприятие построило самые большие в то время танкеры типа «София». С 1967 г. адмиралтейцы приступили к строительству серии плавучих ремонтных доков, которые продолжали поставлять на экспорт и в следующие десятилетия. Ледокольный флот страны пополнялся портовыми ледоколами мощностью 5400 л.с. Кроме того, огромным достижением судостроителей верфей в тот период стало создание атомных подводных лодок нового поколения пр. 671.

В свое время Ново-Адмиралтейский завод начал первым поставлять за границу боевые подводные лодки. Начиная с конца 50-х гг., предприятие вело серийную постройку океанских дизель-электрических подводных лодок пр. 641, модифицированную версию которых с середины 60-х гг. поставляло на экс-

ОТ ЛЕНИНГРАДСКОГО АДМИРАЛТЕЙСКОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ ДО АДМИРАЛТЕЙСКИХ ВЕРФЕЙ

*Отдел по связям с общественностью АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 495 2544*



Проходная ЛАО

порт. Проведя масштабную подготовку производства и дополнительный набор высококвалифицированных кадров, завод приступил к созданию качественно новых атомных ПЛ третьего поколения пр. 705.

Анализ портфеля заказов двух судостроительных заводов свидетельствует о колоссальном обмене опытом, который происходил между двумя производствами и, безусловно, коллективами. Результатом их слияния стало появление крупнейшего предприятия, которое строило и строит подводные, надводные,

военные и гражданские корабли и суда. Именно таким оно остается и сегодня.

ПРОДОЛЖИЛИ И ПРИУМНОЖИЛИ

Безусловно, при объединении оба предприятия столкнулись с трудностями. Создание ЛАО проходило в усложненном режиме, при этом нельзя было снижать заданные темпы производства. Некоторые решения руководства в области кадровой политики привели к потере квалифицированных специалистов, в том числе среди руководящего и инженерного составов. В первые годы сущес-



НИС «Отто Шмидт» и рыбоперерабатывающая плавучая база «Алексей Чув» на достройке

тования ЛАО наблюдалось понижение уровня заработных плат работников, что также повлияло на их отток, особенно Ново-Адмиралтейского завода.

Несмотря на все сложности процесса перестройки, корабли теперь уже ЛАО продолжили эстафету трудовых свершений. В 1970-х гг. как для Адмиралтейского, так и для Ново-Адмиралтейского заводов приоритетным направлением было подводное кораблестроение. ЛАО продолжило строительство подводных лодок. Коллектив предприятия строил экспортные дизель-электрические субмарины пр. И641К и уникальные титановые подводные лодки пр. 705, атомные подводные лодки пр. 671 и его модификаций. В 1980-х гг. адмиралтейцы начали работу над новым поколением экспортных подводных лодок пр. 877ЭКМ.

Кроме того, после объединения двух заводов было организовано специализированное производство по строительству глубоководных аппаратов. Благодаря научным исследованиям этого периода глубину их погружения стало возможным увеличить с 300 до 6000 м.

Комплекс был развернут еще в конце 1960-х гг. на северной площадке Ново-Адмиралтейского завода. С момента объединения он получил развитие. В 1972–1984 гг. для выполнения производственной программы надводного кораблестроения ЛАО начало вести одновременное строительство двух-трех объектов на одном стапеле, конечно, с учетом их длины и продолжительности стапельного периода. Этот опыт АО «Адмиралтейские верфи» успешно использует и сегодня.

ПРОИЗВОДСТВО ДОЛЖНО БЫТЬ СОВРЕМЕННЫМ

Большое внимание ЛАО уделяло развитию собственной технической базы. В середине 1970-х гг. были проведены гидротехнические работы по укреплению набережной р. Фонтана в районе цеха № 12. В 1980 г. создана новая глубоководная достроечная набережная длиной 220 м на Неве. В 1988 г. введен в строй блок складов спецаппаратуры.

В настоящее время АО «Адмиралтейские верфи» продолжают политику технического перевооружения предприятия. В рамках Федеральной целевой программы «Развитие оборонно-промышленного комплекса Российской Федерации на 2011–2021 годы» завод реализует проекты «Техническое перевооружение и реконструкция объектов специального комплекса неатомных подводных лодок», «Техническое перевооружение производственных мощностей для серийного строительства крупных надводных кораблей», «Машиностроительное



Спуск атомной подводной лодки пр. 705 на Ново-Адмиралтейском заводе, 1970-е гг.

производство». Целью проектов является создание современного, высокотехнологичного, экологически безопасного комплекса по постройке и ремонту неатомных подводных лодок, а также модернизация существующих производственных мощностей.

САДМИРАЛТЕЙСКИМ КАЧЕСТВОМ

Универсальность уникального объединения, способного создавать суда и корабли различных назначений, в числе прочего, помогла ему выстоять в сложные годы экономических спадов. Сегодня портфель заказов АО «Адмиралтейские верфи» все так же разнообразен. Предприятие строит серию из десяти больших морозильных рыболовных траулеров для рыбопромыслового флота страны; в апреле текущего года выйдет на заводские ходовые испытания уникальная ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс» для исследований Арктики; в стадии строительства – серия патрульных ледоколов и две серии подводных лодок пр. 636 и пр. 677 для ВМФ РФ. Подобная разноплановая загрузка – лучшее доказательство того, что завод не останавливает своего развития и при этом сохраняет производственные традиции.

Многие адмиралтейцы, трудившиеся еще в ЛАО, до сих пор так и называют верфи. Происходит это потому, что, как и прежде, они гордятся своим предприятием, которое тогда взяло высокую планку и сегодня не роняет ее, а «адмиралтейское качество» было и остается его визитной карточкой. Люди же, которые работали в те годы, ставили ударный, честный труд во главу угла. Сегодня эту эстафету подхватили работники Адмиралтейских верфей.

КОРАБЛИ И СУДА, ПОСТРОЕННЫЕ В ЛАО С 1961 ПО 1971 Г.

Всего за пятьдесят лет на ЛАО построены: 26 надводных судов различного класса и назначений, 44 подводные лодки (в том числе 19 на экспорт), 8 опытных глубоководных станций, 67 глубоководных аппаратов. С 1971 по 1991 г. передано флоту 145 кораблей и судов разного назначения.

Надводные корабли и суда:

ледоколы пр. 97П – 8 ед.
НИС пр. 97Н – 1 ед.
рыбоперерабатывающие базы пр. 413 – 4 ед.
плавдоки – 4 ед., в том числе «Луга»
корабли измерительного комплекса (КИК) – 2 ед.
спасательные суда пр. 1452 – 4 ед.
спасательные суда пр. 1453 – 2 ед.
судно снабжения пр. 11570 – 1 ед.

Подводные лодки:

ДЭПЛ пр. И641К (продолжение серии пр. 641) (с двигателями 2Д42) – 13 ед. на экспорт
АПЛ пр. 671 (3 модификации) – 22 ед.
АПЛ пр. 705 – 3 ед.
ДЭПЛ пр. 877ЭКМ – 6 ед. на экспорт

Глубоководные аппараты:

«Поиск-2» – 4 ед.
«Поиск-6» – 1 ед.
«Тритон-1М» – 32 ед.
«Тритон-2» – 13 ед.
«Тинро-2» – 2 ед.
«Бентос-300» – 2 ед.
«Север-2бис» – 1 ед.
«Тетис» – 10 ед.
«Пиранья» – 2 ед.

Специальные подводные лодки:

пр. 1840, 1851, 1710, 1910 – 8 ед. ■

После поражения при Цусиме России необходимо было воссоздать флот. 30 марта 1905 г. адмиралы В. П. Верховский, Н. И. Скрыдлов и К. К. Деливорн подготовили записку начальнику Морского ведомства о возрождении флота, в которой писали: «После потери большей части флота, от мощи которого зависел в значительной степени исход войны с Японией, России предстоит немедленно восстановить свое морское могущество в еще больших размерах, чем оно было перед открытием боевых действий» [1].

Вместе с тем адмиралы отмечали, что «неудачи, произошедшие с российскими кораблями, обнаружили существенные недостатки, главными из которых были:

«В типе – способность опрокидываться и быть утопленными.

В управлении – повреждаемость руля.

В недостаточной скорости вообще.

В потере скорости из-за недостатков котлов, машин и их вспомогательных механизмов (холодильников, опреснителей).

В очень ограниченном районе плавания.

В малой дальности полёта снарядов из-за неудовлетворительных установок артиллерии.

В неполном бронировании подводной части судов.

В незащищенности подводной части корабля ниже брони.

В малом количестве зарядов и снарядов большого калибра (1 комплект). В сильной качке и неустойчивости платформ для артиллерийских орудий» [2].

В своей записке опытные и заслуженные адмиралы предлагали:

- пересмотреть закон о прохождении службы офицерами;
- при обучении офицеров основной упор делать на их практическое обучение;
- особое внимание обратить на подготовку нижних чинов;
- корабельных инженеров после трех лет службы направлять для обучения в академию;
- боевой флот должен постоянно находиться в плавании.
- вновь строить броненосцы и крейсера только непотопляемые и неопрокидываемые;
- обязать офицеров знать два языка из четырех (английского, немецкого, французского, японского) [3];
- обязать начальников заводов пройти обучение в академии или на высших курсах.

Начальниками Адмиралтейского и Балтийского заводов могут быть только инженеры, прошедшие обучение в Морской академии в кораблест-

роительном или машиностроительном отделах, а начальниками Обуховского и Ижорского заводов – опытные металлурги. В администрацию Обуховского завода следовало включить минных и артиллерийских специалистов [4].

Впоследствии предложения адмиралов будут учтены в ходе проектирования кораблей, необходимых для Российского императорского флота. Для строительства современных, мощных, непотопляемых кораблей надлежало использовать как отечественный, так и зарубежный опыт. Большую роль в решении этой проблемы играли международные конкурсы на постройку кораблей того или иного типа, объявляемые Морским министерством. Осенью 1905 г. в Россию поступили известия о спешной постройке в Англии линейного корабля, получившего название «Дредноут». Его боевая мощь намного превосходила мощь любых кораблей, существовавших в составе флотов того времени. Главное его вооружение состояло из десяти орудий 12-дюймового калибра, противоминная артиллерия включала двенадцать 120-миллиметровых орудий. Броня – по всему борту и во всю его высоту, ход – 21 уз. Однообразие калибра главной артиллерии обеспечивало пристрелку и затем управление огнем, меткость огня, сосредоточенность на конкретном противнике. Ход же, на 4–5 уз превосходивший ход существующих тогда судов, позволял выбирать дистанцию ведения артиллерийского огня. В течение 1906 г. стало известно, что «Дредноут» успешно закончил свои испытания, и Англия строит еще три или четыре подобных корабля [5].

Морской министр А. А. Бирилёв собрал под личным председательством комиссию из кораблестроителей, механиков, артиллеристов, командиров кораблей, адмиралов и судовых специалистов для выработки на основании имеющихся сведений заданий по постройке ли-

нейных кораблей-дредноутов, а также турбинных механизмов для них. Водоизмещение дредноута немногим превышало водоизмещение броненосцев «Андрей Первозванный» и «Павел I»; длина была значительно больше, что требовало лишь удлинения стапелей, поэтому постройка корпусов не представляла больших трудностей. Иначе обстояло дело с постройкой мощных турбинных механизмов, которые до этого времени в России никогда не производились [6].

Комиссия А. А. Бирилёва работала около года. Были выработаны следующие основные тактические задания:

- главное вооружение: двенадцать 12-дюймовых орудий длиной в 52 калибра, размещенных в четырех трехорудийных башнях;
- противоминное вооружение: шестнадцать 120-миллиметровых орудий в казематах;
- ход – $21\frac{3}{4}$ уз с возможностью форсировки;
- бронирование: нижний пояс – 9 дюймов по всему борту и дополнительно $2\frac{1}{2}$ дюйма внутренняя продольная переборка; верхний пояс – 6 дюймов также по всему борту, чтобы обеспечить боевую плавучесть и боевую остойчивость корабля;
- водоизмещение – 21 000 т [7].

Летом 1907 г. морским министром И. М. Диковым было принято и утверждено решение о всемирном конкурсе между российскими и иностранными заводами на составление общего проекта линейного корабля и механизмов для него. Технические задания, выработанные комиссиями А. А. Бирилёва и И. М. Дикова, были переданы в Морской технический комитет (МТК) для составления по ним подробного задания по конкурсу. В то время товарищем морского министра был контр-адмирал И. Ф. Бострел, председателем МТК – контр-адмирал А. А. Вирениус, главным инспектором кораблестрое-

СТРОИТЕЛЬСТВО ЛИНКОРОВ ДЛЯ РОССИЙСКОГО ИМПЕРАТОРСКОГО ФЛОТА В МЕЖВОЕННЫЙ ПЕРИОД (1905–1914)

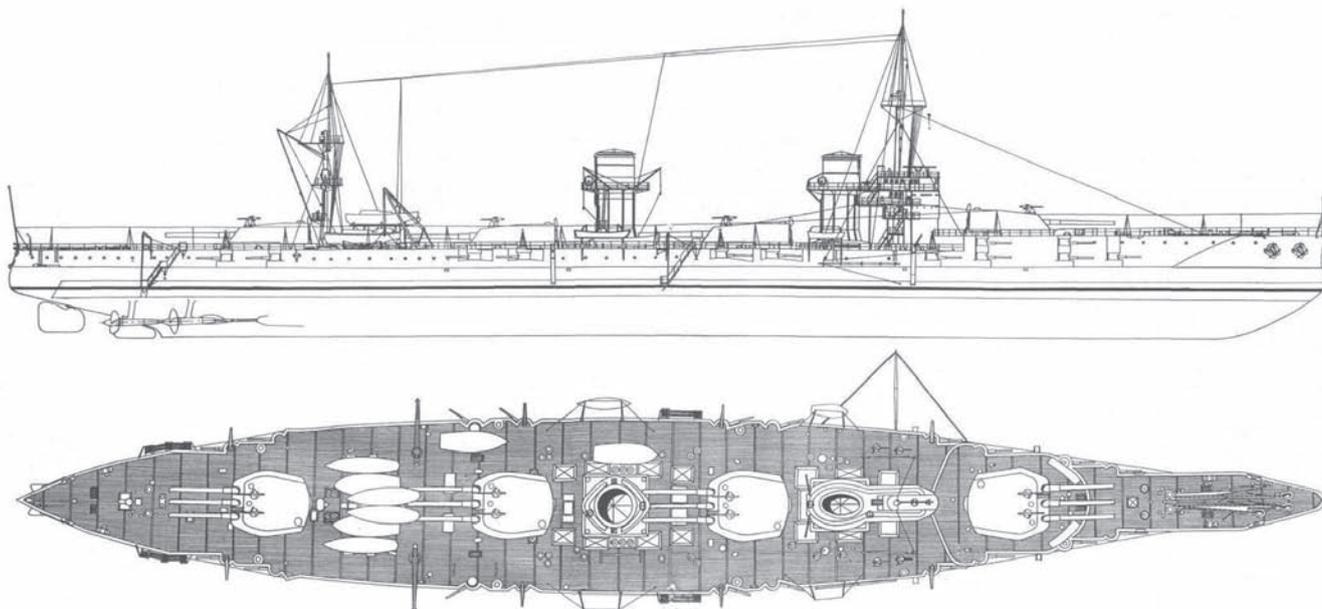
С.В. Федулов, д-р истор. наук, доцент, чл.-корр. Академии военных наук, проф. Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского,

Б.А. Барбанель, академик РАЕН, канд. техн. наук, вице-президент РосНТО им. акад. А.Н. Крылова,

Д.Н. Соловьев, д-р истор. наук, доцент, ст. преподаватель Михайловской военной артиллерийской академии,

А.А. Васильева, преподаватель Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского,

контакт. тел. (812) 452 4865



Линейный крейсер типа «Измаил». Проектный вид, март 1917 г.

ния – Н. Е. Титов, главным инспектором механической части – Ф. Я. Поречкин, главным инспектором артиллерии – генерал-майор А. Ф. Бринк, главным инспектором минного дела контр-адмирал Лилье. А. Н. Крылов заведовал Опытным бассейном, на котором лежала обязанность испытания моделей для выработки теоретического чертежа и главных размеров корабля, обеспечивающих ход судна и возможность его форсирования при возможно малой мощности механизмов. За исходное приближение для расчетов был взят броненосец «Андрей Первозванный» водоизмещением, увеличенным до 21 000 т. Оказалось, что для скорости в $21\frac{3}{4}$ уз требовалось свыше 45 000 л. с. без возможности форсирования, так как при ничтожном возрастании скорости мощность увеличивалась очень быстро.

Всего испытали 21 модель, последовательно изменяя размеры и обводы корабля. Наконец, была получена модель такого корабля, который при длине около 600 футов и водоизмещении 23 000 т для скорости $21\frac{3}{4}$ уз требовал мощности 32 000 л. с. При 45 000 л. с. получалась скорость немногим более 24 уз, что указывало на полную возможность форсировки. На этой модели и остановились [8].

Рассматривать представленные на конкурс проекты, их оценивать должны были с технической точки зрения МТК, с тактической – Морской главный штаб (МГШ). Всего было представлено сорок проектов. Из них восемь от таких знаменитых иностранных заводов, как «Виккерс», «Ферфильд», «Блом и Фосс», «Вулкан», «Ансальдо», «Лурарская верфь». Отдельный проект – от известного итальянского кораблестроителя Куниберти. Кроме того, были

представлены проекты российских Балтийского и Николаевского заводов, а также проект «Автономного броненосца» (с двигателями Дизеля и электропередачей) профессора К. П. Боклевского [9]. Остальные проекты принадлежали русским корабельным инженерам, преимущественно молодым и плохо разбирающимся в технических условиях. Их проекты не удовлетворяли заданиям конкурса, поэтому их отклонили почти без рассмотрения. Проекты же заводов требовали самого серьезного изучения.

Кораблестроительный отдел МТК, возглавляемый А. Н. Крыловым, состоял из трех членов – корабельных инженеров Н. М. Долгорукова, Г. Ф. Шлезинга и А. И. Мустафина, старшего делопроизводителя корабельного инженера А. П. Шершова, а также младшего делопроизводителя титулярного советника В. С. Полтавского, заведующего статистической частью корабельного инженера Н. И. Михайлова, начальника чертежной корабельного инженера Лесникова, двух молодых корабельных инженеров и чертежника. Помимо рассмотрения конкурсных проектов шла обычная текущая работа МТК, так как велась достройка броненосцев «Андрей Первозванный» и «Павел I», трех броненосных крейсеров для Балтийского моря и двух броненосцев «Евстафий» и «Иоанн Златоуст» в Севастополе [10].

Технические условия для конкурса были составлены очень подробно. Анализ проектов, выставленных на конкурс, продолжался около шести недель. Затем председатель МТК А. А. Вирениус созвал общее заседание всех отделов комитета. После обсуждения заключений отделов было выработано общее заключение МТК, и на его основании дана оценка проектов. Наилучшим был при-

знан проект фирмы «Блом и Фосс», затем проекты Балтийского завода и фирмы «Виккерс». МГШ, со своей стороны, признал наилучшим проект, составленный инженером Куниберти [11].

Заключения МТК и МГШ были доложены на совместном заседании И. М. Дикову. Он не решился взять на себя окончательное решение данного вопроса и приказал созвать специальное заседание из членов Адмиралтейств-совета, главных командиров портов и полных адмиралов флота. На данном совещании заключение МТК доложил А. Н. Крылов, а заключение МГШ – капитан 2 ранга В. К. Пилкин. После обсуждения вопрос был поставлен на голосование, и наилучшим всеми членами совещания был признан проект фирмы «Блом и Фосс» [12].

Это решение вскоре было обнаружено, император Вильгельм прислал фирме «Блом и Фосс» высокопарную поздравительную телеграмму и выдал ей заказ на два линейных крейсера. А. Н. Крылов в своих воспоминаниях писал: «Эта телеграмма подействовала сперва на французскую прессу, затем на палату и, наконец, на правительство, подобно искре на порох. Вопрос с чисто технической почвы был переведен на почву международной политики. Французы вообразили, что вопрос идет не о технической помощи со стороны премированной германской фирмы русским заводам (технической помощи, оцениваемой в сумме около 2 млн. рублей), а о передаче немецкому заводу постройки всех четырех линейных кораблей на сумму около 180 млн. рублей золотом. Французские газеты и палата никак не могли взять в толк, почему Франция размещала у себя русские займы, чтобы Россия передала ее деньги Германии

[13]. В результате председатель Совета Министров П. А. Столыпин потребовал от Морского министерства выплатить фирме «Блом и Фосс» отступное под видом покупки у нее конкурсного проекта в сумме 250 000 рублей. Так как проект Балтийского завода был признан вторым, а по конструкции корпуса корабля первым, было дано приказание начать подробную разработку этого проекта в техническом бюро завода.

Руководить разработкой проекта линкора по предложению А. Н. Крылова было поручено профессору И. Г. Бубнову, который лично наблюдал за выполнением самых подробных расчетов крепости корабля и ее обеспечения с наименьшей затратой материала, по мере хода работы он представлял результаты А. Н. Крылову на просмотр и утверждение. Расчеты по линейным кораблям «Петропавловск», «Севастополь», «Гангут» и «Полтава» были выполнены образцово, затем отлитографированы, и эти пять громадных томов стали истинным руководством по строительной механике корабля и проектированию судов.

Параллельно с этими расчетами шла разработка общих и детальных чертежей, составлялись спецификации по корпусу, велись весовые расчеты и т. д.

В корабельной чертежной Балтийского завода работало более двухсот чертежников и около двадцати корабельных и морских инженеров. Разработка проекта турбинных механизмов шла под руководством представителей английской фирмы «Джон Браун». Турбины были приняты системы Парсонса как наиболее надежные [14].

Вместе с тем, несмотря на быстрый рост отечественной промышленности, зависимость ее от зарубежных и в особенности германских рынков оставалась чрезвычайно ощутимой. Целые группы изделий и материалов или не изготавливались в России, или производились в ограниченном количестве и невысокого качества. Эти обстоятельства особенно обострились с началом войны, когда возникла необходимость принять решительные меры для окончательной достройки и оборудования без помощи германской промышленности тех судов, строительство которых следовало закончить в кратчайшие сроки. С целью решения данной проблемы Морское министерство предложило российским заводам освоить производство недостающих на отечественных рынках продукции и изделий. Благодаря деятельности руководства российских предприятий удалось достичь позитивных результатов, хотя приходилось приобретать и заказывать в союзных и нейтральных государствах отдельные товары и продукцию.



Линкор «Полтава» в годы Первой мировой войны

Состояние строительства линкоров и линейных крейсеров морской министр И. К. Григорович в ходе доклада императору Николаю II характеризовал следующим образом: «Все четыре линкора флота Балтийского моря типа «Севастополь» построены, прошли испытания и вступили в строй.

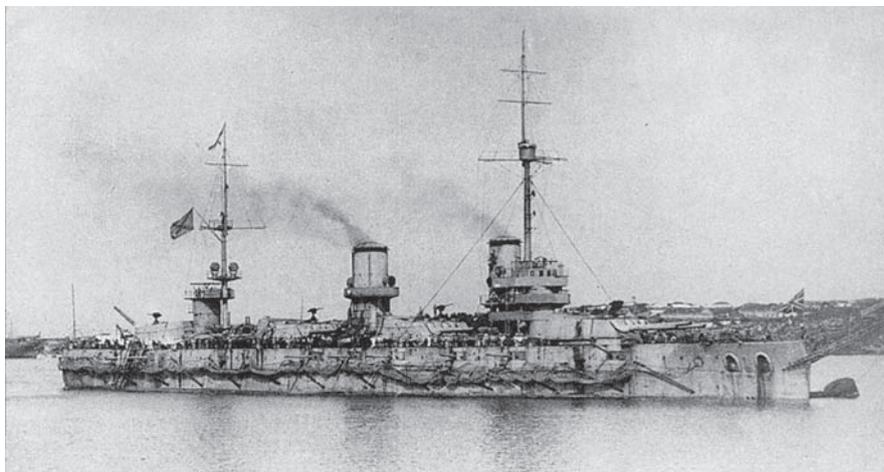
Результаты этих испытаний показали возможность и готовность отечественной промышленности строить корабли такого большого водоизмещения и очень мощных турбин» [15].

На Черном море были приняты необходимые меры к ускорению работ еще на трех линкорах, срок готовности которых был определен для линкора «Императрица Мария» – апрель 1915 г., а для линкора «Императрица Екатерина Великая» – июль 1915 г. Постройка линкора «Император Александр III» задерживалась ввиду того, что заказанные в Англии турбины пришлось доставлять через Архангельск [16].

Докладывая о строительстве линейных крейсеров типа «Измаил» для Балтийского моря, министр отмечал, что



Линкор «Император Александр III»



Линкор «Императрица Мария» в годы Первой мировой войны

оно запаздывало. Причинами задержки являлись, во-первых, снижение производительности российских сталелитейных заводов; во-вторых, сосредоточение деятельности судостроительных предприятий на достройку линкоров типа «Севастополь». Спуск на воду линейных крейсеров типа «Измаил» («Измаил», «Бородино», «Наварин», «Кинбурн») предполагался в течение 1915 г. [17]. Однако, к сожалению, достроить эти прекрасные корабли не удалось ни в годы Первой мировой войны, ни после нее, и советское правительство продало в Германию на металлолом «Бородино», «Наварин», «Кинбурн», а головной – «Измаил» был уже разобран в СССР [18].

Не смогли пережить Первую мировую и гражданские войны созданные на основе линкора типа «Севастополь» черноморские линкоры типа «Императрица Мария». Так, головной линкор «Императрица Мария» 7 октября 1916 г. затонул в результате взрыва порохового погреба, предположительно диверсии. Линкор «Императрица Екатерина Великая» («Свободная Россия») затоплен большевиками торпедами с эсминца «Керчь» ввиду опасности захвата его германскими войсками. Линкор «Император Александр III» («Воля») был захвачен германскими войсками и после капитуляции Германии достался англичанам, которые в декабре 1918 г. перевели его в турецкий порт Измит. Осенью 1919 г. линкор под названием «Генерал Алексеев» был переведен англичанами в Севастополь и передан в состав флота Вооруженных сил Юга России. В декабре 1920 г. линкор в составе эскадры, уведенной врангелевцами из Крыма, прибыл в порт Бизерта (колония Франции). В 1924 г. Советское правительство договорилось с правительством Франции о возвращении ряда кораблей Бизертской эскадры, в том числе и линкора. Однако политический и дипломатический демарш правительств Польши и прибалтийских государств (Латвии, Литвы, Эстонии) не позволил линкору увидеть свои берега. Правительство Франции не в первый и далеко не в последний раз проявило в отношении России необязательность при выполнении договоров.

В 1936 г. корабль был разобран на металл. Орудия же главного калибра линкора в 305-мм достались Финляндии и Германии [19].

Судьба же балтийских линкоров типа «Севастополь» («Севастополь», «Полтава», «Петропавловск» и «Гангут») сложилась не так трагично, как линейных крейсеров и трех черноморских линкоров. Линкор «Севастополь»



Линкор «Октябрьская революция» («Гангут») после модернизации

(«Парижская коммуна») был модернизирован и активно участвовал в Великой Отечественной войне в составе Черноморского флота. Был разобран на металл в 1956–1957 гг.

Линкор «Полтава» («Михаил Фрунзе») снят с вооружения в 1919 г., частично разобран в 1925 г. Его транспортировка к месту частичной разборки прошла не совсем удачно, и должностное лицо, руководившее этой операцией, было отдано под суд военного трибунала. Линкор был окончательно разобран на металл в 1949 г.

Линкор «Петропавловск» («Марат») был модернизирован и активно участвовал в обороне Ленинграда. В сентябре 1941 г. был тяжело поврежден в результате налета вражеской авиации. После частичного восстановления был включен в систему артиллерийской обороны. В 1950 г. был переквалифицирован в артиллерийское самоходное учебное судно под названием «Волхов». В 1953 г. разобран на металл.

Линкор «Гангут» («Октябрьская революция») прошел модернизацию и в годы Великой Отечественной войны принимал активное участие в обороне Ленинграда. В 1951 г. был включен в бригаду учебных кораблей, в 1959 г. разобран на металл [20].

Таким образом, программа строительства кораблей основного класса для Российского императорского флота была выполнена только частично. Было построено четыре линкора для Балтийского флота и три для Черноморского флота. Не был построен ни один из линейных крейсеров. Вместе с тем следует отметить, что, во-первых, все линкоры были достроены и включены в состав Российского императорского флота в условиях Первой мировой вой-

ны. Во-вторых, оставшиеся после катаклизмов мировой и гражданской войн и интервенции линкоры, пройдя модернизацию, еще долгое время находились в составе флота и внесли весомый вклад в Победу советского народа в Великой Отечественной войне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский государственный архив Военно-Морского Флота (РГАВМФ). Ф. 427. Оп. 10. Д. 114. Л. 4.
2. Там же. Л. 4.
3. Там же. Л. 2–3.
4. Там же. Л. 11.
5. Крылов А.Н. Мои воспоминания – Л.: Судостроение 1979. – С. 145.
6. Там же. С. 145.
7. Там же. С. 146.
8. Там же. С. 146.
9. Там же. С. 147.
10. Там же. С. 147.
11. Там же. С. 148.
12. Там же. С. 149–150.
13. Там же. С. 150.
14. Там же. С. 152.
15. Российский государственный исторический архив (РГИА) Ф. 1263. Оп. 4. Д. 185. Л. 4.
16. Там же. Л. 4.
17. Там же. Л. 5.
18. Половинкин В.Н., Федулов С.В., Косаренко Д.А. Трагедия линейных крейсеров Российской империи // Морской вестник. – 2021. – № 3. – С. 121–124.
19. Линейные корабли типа «Императрица Мария» – [Электронный ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Линейные_корабли_типа_«Императрица_Мария» (Дата обращения 04.12.2021)
20. Линейные корабли типа «Севастополь» – [Электронный ресурс] https://ru.wikipedia.org/wiki/Линейные_корабли_типа_«Севастополь» (Дата обращения 04.12.2021). ■



Б.А. БАРБАНЕЛЮ - 85 ЛЕТ

Центральное правление РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011

Видный ученый и конструктор в области подводного кораблестроения Борис Аронович Барбанель родился 25 октября 1936 г. в городе Сальцы Новгородской области. Работал на Адмиралтейском заводе в Ленинграде, служил в ракетных войсках стратегического назначения.

В 1965 г. окончил кораблестроительный факультет Ленинградского кораблестроительного института (ЛКИ) и был направлен на работу в СКБ-143 (ныне – АО «СПМБМ «Малахит»), которое разработало первую отечественную атомную подводную лодку «Ленинский комсомол» и ряд других проектов, по которым были построены подводные лодки (ПЛ), составившие основное ядро многоцелевого подводного флота нашей страны. В 1971 г. он окончил заочную аспирантуру на кафедре гидромеханики ЛКИ и успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Гидродинамика систем снижения сопротивления подводных лодок».

Почти за полвека работы в бюро Борис Аронович прошел путь от рядового конструктора до ведущего конструктора, главного специалиста Государственного Российского центра атомного судостроения и главного конструктора (1998 г.). Участвовал в разработке систем забортной воды ПЛ пр. 705, 671РТ, 671РТМ и создании корабельного оборудования.

В сотрудничестве со специалистами ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, Сибирского отделения АН СССР и Военно-морского флота Борисом Ароновичем были разработаны концепция систем снижения сопротивления и улучшения акустических характеристик скоростных ПЛ методом управления пограничным слоем, в том числе автономной всплывающей модели «Тунец», на кото-

рой впервые были получены высокие результаты во время морских испытаний, проекты переоборудования ПЛ пр. АВ 611Д и 671 для проведения натурных испытаний систем активного воздействия на гидродинамическое сопротивление и кильватерный след. Б. А. Барбанель руководил крупными научно-исследовательскими работами, в том числе НИР «Океан», «УПС «Самшит». Результаты его многолетних теоретических исследований и опытно-конструкторских работ в области гидродинамики, гидроакустики и теории корабля легли в основу создания ПЛ – лаборатории пр. 1710, за что он был удостоен премии Правительства РФ в области науки и техники (2002 г.). В 1998 г. избран академиком Российской академии естественных наук (РАЕН).

В 1999 г. в АО «СПМБМ «Малахит» им впервые была сформирована и успешно начала работать служба защиты интеллектуальной собственности.

Б. А. Барбанель – автор и соавтор 14 монографий, более 150 статей. В течение более 20 лет был членом Государственной аттестационной комиссии по кафедре конструкции судов СПбГМТУ, входил в Научный совет РАН по гидродинамике и Научный совет Минюста РФ по интеллектуальной собственности, избирался членом Научного совета Санкт-Петербургского научного центра РАН по фундаментальной и прикладной гидрофизике.

Входит в состав редсоветов журналов «Изобретательство» и «Биржа интеллектуальной собственности». С 1968 г. он – активный член Российского НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, с 2004 г. председатель вновь созданного в НТО Комитета по интеллектуальной собственности.

Входил в состав Совета НТО «СПМБМ «Малахит».

С 2014 г. Б. А. Барбанель как вице-президент НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, руководитель Комитета по молодежной политике и связям со СМИ ведет активную работу с молодыми специалистами предприятий судостроительной и смежных отраслей, привлекает их к участию в конкурсах «Инженер года» и «Надежда России», «Молодой кораблестроитель – инженер года», конференциях, секциях НТО, семинарах, «круглых столах».

Возглавляемый Б. А. Барбанелем Комитет по молодежной политике НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова в тесном взаимодействии с департаментом управления персоналом ОСК поддерживает тесную связь с НИИ, КБ и заводами отрасли, активно содействует представлению на конкурс работ предприятиями всех регионов России. Лучшие работы молодых специалистов постоянно публикуются в журнале «Морской вестник», «Судостроение».

Труд Б. А. Барбанеля получил высокую оценку – он награжден многими медалями, в том числе имени академиков А. Н. Крылова, Н. Н. Исанина, А. П. Александрова, адмирала С. Г. Горшкова, «Ветеран ВМФ», «50 лет подводным силам России», знаками «За активную работу в НТО СССР», «Ветеран-подводник», медалью «150 лет Российскому НТО судостроителей им. академика А. Н. Крылова» и почетной грамотой Российского Союза научных и инженерных обществ.

Б. А. Барбанеля всегда отличали системность мышления, высокий профессионализм и преданность делу. Высокая квалификация, работоспособность, активная жизненная позиция, доброжелательное отношение к людям снижали ему заслуженное уважение коллег.

Б. А. Барбанель – автор 159 изобретений, в том числе 2 патентов Китая и 4 евразийских патентов, 36 из которых были успешно реализованы на практике. Он удостоен почетного звания «Заслуженный изобретатель РФ» (1992 г.). За создание высокотехнологичных экспортных изделий Б. А. Барбанелю в 2009 г. была присуждена национальная премия «Золотая идея».

Друзья и коллеги поздравляют Бориса Ароновича со славным юбилеем и желают здоровья, творческого долголетия и больших успехов в работе по воспитанию молодых судостроителей в лучших традициях, заложенных академиком А. Н. Крыловым и его последователями.

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» поздравляют Бориса Ароновича Барбанеля с 85-летием, желают ему доброго здоровья, благополучия и продолжения работы на благо отечественного судостроения. ■

18 февраля 2022 г. в Тронном зале Екатерининского дворца Государственного музея-заповедника «Царское Село» в городе Пушкине в память о председателе Санкт-Петербургского Морского Собрания Николае Владимировиче Орлове и в честь 112-й годовщины основания Собрания состоялась 51-я Памятная Ассамблея. На ней присутствовали почетный член Морского Собрания, первый заместитель главнокомандующего ВМФ – начальник Главного штаба ВМФ (2015–2019 гг.), вице-адмирал А. О. Воложинский, почетные старшины и почетные члены СПб МС, а также родственники Н. В. Орлова.

Следует отметить, что Памятная ассамблея проходила через два года после предыдущей, 50-й, ассамблеи, которая состоялась 7 февраля 2020 г. и была посвящена 110-летию со дня основания и 25-летию со дня возрождения СПб МС. Позднее, в связи с кончиной председателя и жесткими ограничениями по нераспространению новой коронавирусной инфекции, ассамблеи не проводились. В рамках подготовки 51-й ассамблеи было выполнено 23 предписания Роспотребнадзора. На мероприятии присутствовало около 50% от обычной численности гостей.

В седьмом часу вечера участники ассамблеи начали прибывать в торжественно освещенный Екатерининский дворец. Перед началом ассамблеи в прицерковном зале домовой церкви Воскресения Христова настоятель Никольского морского кафедрального собора, духовник Санкт-Петербургского Морского Собрания протоиерей отец Богдан (Сойко) совершил службу светлой памяти Н. В. Орлова. По ее окончании по дворцовой анфиладе гости перешли в Тронный зал, в котором их вниманию был представлен видеофильм «Честь. Флот. Отечество», посвященный Николаю Владимировичу.

Уроженец Ростовской области Н. В. Орлов с юных лет связал свою судьбу с флотом. После школы он поступил в Одесское мореходное училище на судоводительский факультет, после завершения обучения служил в рядах Вооруженных сил СССР на подводных лодках Северного флота, а еще позже окончил Военно-морскую академию им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова. В апреле 1995 г. был избран председателем СПб МС и руководил им вплоть до своей кончины 22 июня 2021 г. Благодаря его энтузиазму, энергии, целеустремленности и большому желанию возродить Собрание стало возможным дальнейшее эффективное и плодотворное функцио-

51-Я АССАМБЛЕЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

*И. А. Лещенко, пресс-секретарь,
И. В. Меркулов, канд. истор. наук, доцент СПбГУ, историограф,
Санкт-Петербургское Морское Собрание,
контакт. тел. (812) 312 7092*



Председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания С. Н. Ирютин (в центре), духовник Собрания протоиерей отец Богдан (Сойко), первый заместитель председателя СПб МС А. В. Щербицкий

нирование этой общественной организации. На этом посту он проявил себя инициативным, вдумчивым и принципиальным руководителем, талантливым организатором. Сегодня СПб МС объединяет в своих рядах более 500 человек, из которых 28 – представители высшего командного состава Вооруженных сил России и Военно-Морского Флота, 13 Героев России, Героев труда России, Советского Союза и Социалистического труда.

По инициативе Николая Владимировича в октябре 2001 г. была создана Межрегиональная ассоциация Морских собраний России. В нее вошли собрания Архангельска, Владивостока, Вологды, Калининграда, Кронштадта, Мурманска, Петропавловска-Камчатского, Ростова-на-Дону, Санкт-Петербурга и Севастополя. Председателем Совета Ассоциации был избран Николай Владимирович.

Благодаря энергичной деятельности Н. В. Орлова СПб МС пользуется заслуженным авторитетом не только в России, но и за рубежом. Более четверти века оно активно содействует возрождению морских традиций, воспитанию моряков на идеях патриотизма и беззаветного служения Отечеству и народу. При активном участии Н. В. Орлова возросли лучшие флотские традиции, восстанавливались белые пятна истории флота, про-

пагандировалась морская служба. Морское Собрание под его руководством проводило большую разностороннюю общественную, военно-патриотическую, социальную и практическую работу, направленную на поддержку Российского государства и отечественного флота. Все это укрепляло и укрепляет авторитет нашего флота.

Традиционно ассамблея началась с концерта, программа которого была составлена из любимых музыкальных произведений Николая Владимировича. Прозвучали произведения Франца Шуберта, Жоржа Бизе, Сергея Рахманинова и советских композиторов в исполнении солистов Мариинского театра под руководством заслуженного артиста России В. В. Самсонова. Перед собравшимися выступили Людмила Разумкова (сопрано), Ирина Матаева (сопрано) и Екатерина Крапивина (меццо-сопрано). Концертная программа завершилась исполнением песни «Есть только миг...» в великолепном исполнении квартета.

По окончании концерта председатель Морского Собрания Сергей Николаевич Ирютин открыл Памятную ассамблею. По его команде под звук фанфар был торжественно внесен Юбилейный Знаменный флаг и исполнен Гимн СПб МС. Далее слово было предоставлено протоиерею отцу Богдану (Сойко), которой еще раз поч-

тил память Н. В. Орлова и благословил на добрые дела всех членов Собрания и нового председателя.

С. Н. Ирютин доложил присутствующим о работе Морского Собрания в 2021 г. В истекшем периоде Совет старшин строил свою работу в соответствии с задачами и планами, определенными Уставом Морского Собрания и планами работы.

Работа Морского Собрания была организована и проходила в условиях санитарных ограничений, вызванных пандемией COVID-19. На ее начальном этапе заседания Совета старшин проводились дистанционно, позднее посредством очно-заочного голосования по электронной почте и, наконец, в формате очного присутствия. При этом план проведения мероприятий был выполнен практически полностью, за исключением проведения ассамблей Морского Собрания в 2020–2021 гг.

С целью увековечивания памяти Н. В. Орлова 29 июня Советом старшин была поддержана инициатива Почетного председателя Морского Собрания адмирала В. И. Королева, почетных старшин: адмирала В. П. Иванова, контр-адмиралов Ю. М. Халиуллина, Б. Е. Богданова, почетных членов: адмиралов И. Ф. Васильева Ю. Н. Сысуева, вице-адмирала А. Н. Федотенкова, членов собрания: контр-адмирала В. И. Самсона, капитана 1 ранга Ю. А. Митрофанова об установке на средства членов Собрания памятного знака Н. В. Орлову на здании Морского Собрания на Английской набережной в целях увековечивания его памяти и больших заслуг в воссоздании и развитии Собрания, а также поддержано предложение Ростовского-на-Дону Морского Собрания и Ассоциации «Водный транспорт Дона» о присвоении имени «Николай Орлов» одному из сухогрузов пр. RSD 59, закладываемых к постройке ОСК на верфи «Красное Сормово».



Выступление солиста Мариинского театра заслуженного артиста России В. В. Самсонова

На том же Совете 29 июня на должность председателя Совета старшин СПб МС был избран С. Н. Ирютин. 19 ноября был избран Совет Межрегиональной общественной организации «Ассоциация Морских собраний». В настоящее время документы о внесении изменений в государственный реестр общественных организаций поданы в Министерство юстиции РФ и находятся на рассмотрении.

Морское Собрание продолжало свою деятельность в соответствии с уставными целями и задачами. В течение года проводились конференции, круглые столы, чтения, посвященные памятным датам и флотоводцам Российского флота, малыми группами с привлечением ведущих историков России, офицеров ВМФ, при поддержке ветеранов флота, членов их семей, командования, офицеров и курсантов старших курсов морских и военно-морских институтов и академий, руководства и представителей органов власти Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Так, 26 марта 2021 г. в СПб МС состоялся «круглый стол» на тему «165 лет Парижского мирного договора 1856 года»; 15 апреля была проведена научно-практическая конференция «От Нарвы до Ништадта»; 30 июня Собрание приняло участие в заочной военно-исторической конференции Западного военного округа «Государство, армия и общество во Второй мировой войне». На заседаниях Совета старшин утверждался, корректировался и реализовывался план мероприятий по подготовке и проведению празднования Победы советского народа в Великой Отечественной войне, а также подготовке к празднованию Дня ВМФ России.

К 350-летию юбилею Петра I была издана книга «Петровская эпоха в документах РГАВМФ», переиздан найденный в архиве библиотеки Морского собрания альбом «Сражение при Гангуте 1714 года – начало славы российского флота».

Общественная организация «Санкт-Петербургское Морское Собрание» выдвинула на соискание премии Министерства обороны РФ в области культуры и искусства в 2021 г. (номинация «Литературное творчество») серию книг И. А. Лещенко «Традиции российского флота», посвященную 325-летию со дня создания регулярного Военно-Морского Флота России. Первое издание серии «Главный военно-морской парад России» было подготовлено по инициативе Главного командования ВМФ РФ в канун проведения первого Главного военно-морского парада и вышло в свет в 2017 г. при поддержке СПб МС (второе дополненное издание – 2018 г.). Вторая книга – «Духовные традиции русского флота» – появилась в 2019 г., а третья – «Боевые традиции русского флота» – в 2021 г., когда отмечался 325-летний юбилей Российского ВМФ.

Поскольку Морское Собрание особое внимание традиционно уделяет работе с подрастающим поколением – кадетскими классами, морскими детскими школами, клубами юных моряков, книги были переданы во все библиотеки высших и довузовских морских учебных заведений Министерства обороны, во многие морские и городские библиотеки с целью популяризации истории и традиций отечественного ВМФ и флотской службы. Кроме того, в честь 25-летия со дня возрождения СПб МС было продолжено издание детской серии «Морская слава России», посвященной сражениям Российского флота от Гангута до Синопа. Книгами «Наварин. 1827» и «Синоп. 1853» издание серии было завершено в 2021 г. Тогда же была подготовлена к изданию книга из серии «Морская слава России» для детей и юношества – «Петровские баталии».

Презентации изданий Собрания проводились Центральной военно-морской библиотеке на конференции «VIII Крузенштерновские чтения» (22 октября) и в Санкт-Петербургском Горном университете на «Путиловских чтениях» (9 декабря).

Члены Морского Собрания активно участвовали в работе редакционного совета журнала «Морской вестник».

В рамках оказания помощи научному сообществу за счет средств Морского Собрания была издана монография «Лечение раненных в конечности в войнах и вооруженных конфликтах» (В. В. Хоминец, В. М. Шаповалов, С. В. Михайлов, Л. К. Брижань), по опыту боевых действий в Сирии.

СПб МС по-прежнему активно принимало участие в общественно значимых мероприятиях города. Так,

25 июля была проведена парусная гонка на акватории Финского залива, посвященная дню ВМФ России. Члены Морского Собрания участвовали в мероприятиях, проводимых организациями и предприятиями Санкт-Петербурга. Мероприятия, проводимые СПб МС, освещались в «Морской газете», журнале «Морской вестник», а также на портале «Mil.Press FLOT» и на сайте Собрания. СПб МС продолжает оказывать материальную поддержку ветеранам Великой Отечественной войны и ВМФ, воинским частям и соединениям ВМФ РФ и Ленинградской Военно-морской базы, военно-морским и морским учебным заведениям нашего города и морским учреждениям.

В заключении своего доклада С. Н. Ирютин сообщил присутствовавшим, что в Совет старшин избраны: член Собрания, президент «Эго-Холдинга» А. Л. Кашин, действительный член Собрания, генеральный директор ООО «Газпром трансгаз СПб» Г. А. Фокин, член Собрания, контр-адмирал запаса А. В. Щербицкий.

Гостям Ассамблеи были представлены назначенные на должности СПб МС: первый заместитель председателя Морского Собрания контр-адмирал запаса А. В. Щербицкий, который является председателем мандатной и наградной комиссий; историограф Собрания, кандидат исторических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного университета И. В. Меркулов; избранный председателем ревизионной комиссии член Собрания А. В. Хитущенко; действительный член, юрист Собрания на общественных началах, председатель Коллегии адвокатов «Паритет» А. В. Иванов, который оказывает безвозмездную юридическую помощь Собранию.

С. Н. Ирютин поблагодарил всех за поддержку и высокое доверие. Пожелал собравшимся в непростых условиях эпидемии сохранить здоровье и достичь желаемых успехов.

Затем слово для читки приказов председателя и вручения наград СПб МС взял заместитель председателя контр-адмирал А. В. Щербицкий. Приказом № 1 «О вручении наград Санкт-Петербургского Морского Собрания» от 18. 02. 2022 г.) были награждены:

ценным подарком:

А. Б. Миллер – председатель правления ПАО «Газпром»,
орденом Морского Собрания «Орденский знак»:

М. В. Малюшин – генеральный директор ООО «Судоходная компания «Виллюй»,
орденом «За Заслуги» II степени:

И. В. Вильнит – генеральный директор АО ЦКБ «Рубин»,



Генеральный директор ООО «Судоходная компания «Виллюй» М. В. Малюшин удостоен высшей награды СПб МС – ордена Морского Собрания «Орденский знак»

орденом «За трудовую доблесть» I степени:

О. В. Таратынова – директор ГМЗ «Царское Село»,

А. Б. Фомичев – заместитель генерального директора – заместитель генерального конструктора ОАО «Концерн Моринформсистема – «Агат», заведующий кафедрой СПбГМТУ, профессор, доктор технических наук,

Н. Ю. Лебедев – член СПб МС,
орденом «За заслуги в морской деятельности» I степени:

Ю. В. Пыльнев – генеральный директор инженерной компании «Неотон Марин» – за достигнутые успехи и в связи с 70-летием,

М. А. Володин – заместитель генерального директора по безопас-

ности ОАО «Концерн «Океанприбор»,

орденом «За заслуги в морской деятельности» II степени:

Ю. И. Назаров – первый заместитель председателя Гатчинского Морского Собрания,

А. Б. Давыдов – член СПб МС, капитан дальнего плавания, за достигнутые успехи в связи с 50-летием,
орденом «За заслуги в морской деятельности» III степени:

С. Э. Крижевский – директор ООО «Нобель»,
медалью «В память 300-летия Гангутской битвы»:

Е. А. Рылов – генеральный директор ЗАО ПКБ «РИО»,

А. В. Щербицкий – первый заместитель Председателя Санкт-Петербургского Морского Собрания,
медалью «Петра Великого»:

Ю. Л. Бузнер – заместитель генерального директора ООО «Антикоррозионные покрытия СПб»,

В. В. Гузенко – генеральный директор ООО «Альфиус Фидс»,

Б. П. Игдалов – директор ООО «Царскоесельская янтарная мастерская», художник-реставратор,

А. Л. Кашин – заместитель генерального директора по науке НПО «Завод «Волна»,

М. Б. Рыбин – директор по эксплуатации флота ООО «Таганрогский танкерный флот»,

В. В. Трушанов – генеральный директор ООО «Веском»,

Ю. А. Яковлев – член СПб МС, капитана 1 ранга,

медалью «В память 250-летия Чесменской битвы»:

А. В. Щербицкий – первый заместитель председателя СПб МС,

Ю. А. Яковлев – член СПб МС, капитан 1 ранга,



Вручение ордена «За трудовую доблесть» I степени О. В. Таратыновой

В. И. Орлов – внук Н. В. Орлова,
Е. А. Рылов – генеральный директор
ЗАО «ПКБ «РИО»,

*Золотым знаком «За 10 лет безуп-
речной службы в СПб МС»:*

А. О. Воложинский – вице-адми-
рал, корпорация «Роскосмос»,

С. А. Бажин – заместитель гене-
рального директора ОАО «ЦКБ
«Лазурит»,

К. А. Смирнов – генеральный ди-
ректор НПО «Пожарная автома-
тика сервис»,

С. Э. Крижевский – директора
ООО «Нобель»,

С. В. Марковский – председатель
международного арбитражного
суда ICSNGD,

*Золотым знаком «За 15 лет безуп-
речной службы в СПб МС»:*

С. О. Барышников – ректор Госу-
дарственного университета мор-
ского и речного флота им. адм.
С. О. Макарова,

О. И. Грызлов – председатель Со-
вета директоров ОАО «Ростовский
порт»,

Л. Б. Горохов – заместителя на-
чальника службы эксплуатации
магистральных морских газопро-
водов «Газпром трансгаз СПб»,
старшину СПб МС,

*Золотым знаком «За 20 лет безуп-
речной службы в СПб МС»:*

И. И. Малышев – заместитель
председателя наградной комиссии
СПб,

В. В. Камлюк – генеральный дирек-
тор ООО «НПО 122 УМР»,

Ю. Х. Лукманов – председатель
Совета директоров автохолдинга
РРТ,

А. Ф. Савкин – генеральный ди-
ректор ООО «Приморский универ-
сально-перегрузочный комплекс»,
*Золотым знаком «За 25 лет безуп-
речной службы в СПб МС»:*

Н. М. Вихров – директор ОАО «Ка-
нонерский судоремонтный завод»,
Вилинбахов Г. В. – заместитель
директора Государственного Эр-
митажа,

А. И. Штепа – председатель Ассо-
циации «Безопасность».

В условиях пандемии, а также по иным уважительным причинам не все награжденные смогли присутствовать на ассамблее. В этой связи наградные знаки будут лично вручены им Советом старшин позднее. После окончания официальной части гости были приглашены на Торжественный прием от имени Почетного председателя Собрания Главного командующего ВМФ РФ адмирала В. И. Королева, который завершился масленичным гулянием в Александровском парке Царского Села. ■



Почетный член Морского Собрания, первый заместитель главнокомандующего ВМФ – начальник Главного штаба ВМФ (2015–2019 гг.), вице-адмирал А. О. Воложинский



Награждение ректора ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова С. О. Барышникова



Действительный член СПб МС, старшина Морского Собрания, генеральный директор ООО «Газпром трансгаз СПб» Г. А. Фокин

«... В малом еще лете возрасте... с природным ему любопытством к показанию достохвальных дел и непреклонною охотою к искусству и действию возымел вину, намерение и начало к великому сему флота делу...

И уже не суетная явилась надежда быть совершенному флоту морскому в России, когда сам российский монарх стал корабельным архитектором, как то вскоре и делом самым показалось». Устав Морской, 1720 г.

9 июня 2022 г. исполняется 350 лет со дня рождения основателя Российского флота императора Петра Великого.

Традиция историографического и культурологического осмысления наследия Петра берет свое начало еще в XVIII столетии. Масштаб его преобразовательной деятельности неизменно привлекал внимание как восторженных почитателей, так и убежденных оппонентов. Спор о судьбах Отечества часто переходил из области ментального противостояния в плоскость политической борьбы, в которой император был невольным участником. Однако мало кто из «тяжущихся об истине» отрицал в прошлом и отрицает ныне значение для России «любимого детища Петра» – Российского флота.

Сам Петр писал: «Была... Россия в древние... времена довольно мужественна и храбра, но недовольно вооружена. И как политическая пословица скажет о государях, морского флота не имущих, что те токмо одну руку имеют, а имеющие флот – обе, что и наша Россия одну токмо руку имела тогда. <...> И добре сие знали иностранные народы, которые, когда смотрели на Россию, растерзанием своим весьма изнемогшую, не опасались от нее походов морских, яко отнюдь неудобных».

Российский флот берет свое начало от «потешного» ботика, случайно найденного юным царем среди рухляди в старом амбаре. Природное любопытство и воля самодержца вернули отжившее, казалось, свой срок судно на водную гладь. «Кто бы тогда подумал, – признавался сам Петр, – что охота сия государева к большому делу произойдет, а не в игриши только юношеском останется... как помянутый ботик не к детскому только гулянию послужил ему, но подал вину к великому флоту строению...». На глазах одного поколения этот флот стал силой на Балтике, с которой нельзя было не считаться. Со временем российские суда вышли в Мировой океан, в водах которого обесмертили свои имена моряки-воины, моряки-путешественники и моряки-ученые. И сегодня Балтийский,

«КРУГЛЫЙ СТОЛ» НА ТЕМУ «ПЕТР ВЕЛИКИЙ И РОССИЙСКИЙ ФЛОТ»

С.Н. Ирютин, капитан 1 ранга, канд. воен. наук, доцент, председатель Санкт-Петербургского Морского Собрания, контакт. тел. (812) 312 5396



Северный, Тихоокеанский и Черноморский флоты с честью защищают рубежи нашей Родины.

Петр Великий всегда был для российских моряков близким по духу соиздания и стремлению к приумножению славы родного флота. В этой связи 10 июня 2022 г. Санкт-Петербургское Морское Собрание планирует проведение «круглого стола», посвященного деятельности первого императора как флотоводца, кораблестроителя и организатора морских сил России.

Санкт-Петербургское Морское Собрание обращается ко всем желающим с предложением принять участие в работе «круглого стола» «Петр Великий и Российский флот» с докладами и в их обсуждении.

В условиях пандемии участие предполагает смешанный очно-заочный формат с использованием интернет-средств коммуникации. Организаторы надеются,

что это не только поможет соблюсти все санитарные требования, но и позволит принять участие в заседании исследователям из различных регионов.

Материалы «круглого стола» планируются опубликовать на страницах журнала «Морской вестник».

В заявке на участие следует указать:

1. Фамилию, имя, отчество.
2. Место службы, должность, ученые степень и звание (при наличии).
3. Тему доклада.
4. Краткую аннотацию (объемом до 750 печатных знаков).
5. Контактную информацию (телефон, e-mail).
6. Планируемый формат участия (очный/заочный).

Просим присылать заявки до 30 апреля 2022 г. на имя историографа Санкт-Петербургского Морского Собрания Ивана Владимировича Меркулова: ivanmerkulovspb@mail.ru. ■

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 статью, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутоновые), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутоновых, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и безвозмездной 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 623.8 **Ключевые слова:** кораблестроение, тренды, корабли основных классов, перспективы развития, цель применения ВМФ
- В.Н. Половинкин, А.Б. Фомичев. Кораблестроительная активность двенадцати стран мира в 2021–2022 гг. //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 7**
- Дано описание двух глобальных трендов, влияющих на изменение облика военных действий на море. Рассмотрена кораблестроительная активность двенадцати ключевых игроков в области военного кораблестроения, приведены статистические данные о составах ВМС ведущих стран мира. Раскрыта стратегическая цель применения ВМФ в мирное время, в мирное время во время кризисной ситуации, а также в военное время. Т. 8. Ил. 1.
- УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** корабельный состав, обновление, смена поколений кораблей, сочетание подходов, прогноз
- А.В. Шляхтенко, И.Г. Захаров. Когда приходит новое поколение //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 13**
- Проанализированы подходы к планированию смены поколений кораблей. Строительство нового поколения без учета результатов научно-технического прогресса может привести к неупорядоченному процессу вынужденной модернизации комплексов серийных кораблей. Создание нового поколения кораблей, исходя исключительно из «новой идеи», нарушает ритмичность смены поколений и ведет к моральному устареванию корабельного состава. Только гармоничное сочетание подходов к появлению ключевых образцов кораблей нового поколения на основе прогноза и к планированию ввода их в строй может дать необходимый результат. Ил. 4.
- УДК 629.12:539.433 **Ключевые слова:** установившиеся колебания, квазидоменная модель, совместные колебания, инерционно-жесткостные характеристики, парциальные отклики
- А.Л. Мелконян, Д.А. Николаев. Совместная вибрация судового корпуса и его конструктивных модулей с малым районом сопряжения //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 17**
- Предложен ряд подходов к расчету совместной вибрации судового корпуса и его конструктивных модулей (судовых конструкций и устройств). Разработаны расчетные алгоритмы, реализация которых позволяет единообразно решать задачи об установившихся колебаниях конструкций, моделируемых квазидоменными моделями. Суть метода состоит в коррекции и модификации значений инерционно-жесткостных характеристик такой модели, а также нагрузки, действующей на нее. Создана программа расчета параметров совместных установившихся колебаний. Т. 1. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.
- УДК 004.021:523.3 **Ключевые слова:** волновое сопротивление, число Фруда, корабельные волны, математическое моделирование, система моделирования морских операций
- В.Г. Грачев. Учет интерференции корабельных волн при математическом моделировании волнового сопротивления движению корабля //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 22**
- Рассмотрена физика явления интерференции носовых и кормовых поперечных корабельных волн, описано новое научно обоснованное техническое решение – способ учета влияния интерференции при математическом моделировании волнового сопротивления движению корабля. Т. 1. Ил. 12. Библиогр. 18 назв.
- УДК 620.197.3 **Ключевые слова:** лазерные технологии, точность, резка, сварка, сборка корпуса
- Д.А. Полянская, В.И. Трусов. Метод временной противокоррозионной защиты нержавеющей стали //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 31**
- Рассмотрен метод консервации нержавеющей стали в период выполнения заказа с помощью конверсионного фосфатного покрытия «НОТЕХ». Образование в процессе фосфатирования мелкокристаллических средних фосфатов железа, цинка, хрома и никеля нивелирует электрохимическую гетерогенность поверхности стали и улучшает ее противокоррозионные свойства. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 4 назв.
- УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** пропульсивный модуль, корабельная энергетическая установка (ЭУ), гребной электродвигатель (ГЭД), малооборотный ГЭД, высокооборотный ГЭД, концепция обоснования облика перспективных ЭУ
- К.Г. Голубев. К вопросу создания пропульсивного модуля, встраиваемого в валопровод перспективных многоцелевых надводных кораблей //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 33**
- Анализ данных показал, что концепция обоснования облика энергетических установок перспективных многоцелевых кораблей в конструкторских бюро-проектантах должна быть кардинально пересмотрена. В новой концепции обязательно должно найтись место пропульсивному модулю, встраиваемому в валопровод, что будет способствовать повышению боевых и эксплуатационных характеристик перспективных надводных кораблей. Ил. 7. Библиогр. 7 назв.
- УДК 621.438:620.193 **Ключевые слова:** жаропрочные сплавы, коррозионная стойкость, соли морской воды
- А.З. Багерман, С.А. Заводов. Оценка коррозионной стойкости жаропрочных сплавов на основе никеля //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 37**
- Предложены два способа оценки коррозионной стойкости жаропрочных сплавов, включая «прогнозный» по химическому составу сплава без испытаний. Т. 3. Библиогр. 9 назв.
- УДК 629.12.037 **Ключевые слова:** судовые машины и механизмы, детали, прочность, выносливость, усталость, долговечность, трещина, остаточная долговечность
- В.К. Румб, Хтоо Наинг Аунг. Идеологические предпосылки перехода от расчетов прочности к прогнозированию долговечности судовых машин и механизмов //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 40**
- Рассмотрены методы расчета прочности деталей судовых машин и механизмов в диалектическом развитии, начиная от статического нагружения и заканчивая действием переменных напряжений. Особое внимание уделено расчетам на выносливость, потому что поломки деталей чаще всего связаны с усталостью материала. Предлагается оценивать работоспособность деталей не прочностью, а долговечностью. Приведены методические положения прогнозирования долговечности для стадии зарождения и появления первых видимых трещин и остаточной долговечности для стадии роста трещины до критического размера. Ил. 2. Библиогр. 6 назв.
- УДК 629.5.035.58 **Ключевые слова:** соосные гребные винты противоположного вращения, передача мощности
- А.Р. Тогуниц, С.Л. Анчиков, Л.И. Вишневский. О технических требованиях к электрической передаче мощности на соосные гребные винты противоположного вращения //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 43**
- Представлены примеры основных конструктивных решений двигателей с соосными гребными винтами (СГВ) противоположного вращения. Обосновано назначение технических требований к электрической передаче мощности на СГВ на основе обобщенных эксплуатационных данных о существующих судах, а также расчетов ходкости двух типовых судов с мощностями 1800 и 3000 кВт, передаваемыми на СГВ. Дана оценка предельно допустимых величин диаметров гондолы движительно-рулевых колонок с СГВ мощностью 1800 и 3000 кВт. Т. 3. Ил. 7. Библиогр. 20 назв.
- УДК 623.973 **Ключевые слова:** преобразовательные устройства, параллельное соединение, суммирование мощностей
- В.В. Фогель, В.Ю. Селякова, В.Н. Грачев. Параллельное включение преобразователей энергии применительно к системам компенсации корабельных магнитных полей //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 49**
- Рассмотрена возможность параллельного включения преобразовательных устройств для увеличения выходной мощности. Представлены математические расчеты, описывающие данное решение. Ил. 4.
- УДК 629.12.8 **Ключевые слова:** воздуhezависимая энергетическая установка (ВНЭУ), единая газотурбинная установка (ЕГТУ), подводное транспортное средство, замкнутый цикл, арктический шельф, атомная энергетическая установка
- П.С. Андреев. Перспективы применения воздуhezависимой энергетической установки с газотурбинным двигателем замкнутого цикла //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 53**
- Рассматривается ВНЭУ с ГТД замкнутого цикла (ЗЦ), которая может применяться в составе подводного технического средства, предназначенного для освоения арктического шельфа. Дано описание работы установки, ее принципиального устройства, а также приведены обобщенные выводы о целесообразности применения ВНЭУ с ГТД ЗЦ в качестве единых ГТУ, эксплуатация которых предполагается продолжительное время в подводном положении в условиях сплошных ледовых покровов. Ил. 3.
- УДК 629.12.037 **Ключевые слова:** усталость материала, трещина, остаточная долговечность, алгоритм расчета, коэффициент интенсивности напряжений
- В.К. Румб, Хтоо Наинг Аунг. Определение остаточной долговечности деталей с трещинами судовых машин и механизмов //Морской вестник. 2022. № 1 (81). С. 57**
- Приведены основные методические положения и алгоритм расчетной оценки остаточной долговечности деталей с трещинами. На конкретных примерах показано практическое применение предлагаемого алгоритма. Доказано, что в отдельных случаях детали с трещинами имеют достаточный запас прочности и могут длительно эксплуатироваться без поломок. Ил. 5. Библиогр. 6 назв.
- УДК 629.5.035 **Ключевые слова:** судовый валопровод, гребной вал, дейдвудный подшипник,

зор, износ, поперечные колебания, упругая опора, коэффициент жесткости

А.А. Халаякин, С.А. Макеев, А.И. Машенко, Д.О. Шацков, А.Я. Ауслендер. Об одном подходе к расчету поперечных колебаний судового валопровода с учетом износа дейдвудного подшипника//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 62

Рассмотрены рабочее состояние валопровода в зависимости от величины зазора между гребным валом и дейдвудным подшипником, который из-за износа последнего увеличивается, а также существующие способы определения допускаемых зазоров в подшипнике на основе параметров вращающегося вала и подшипникового узла. Указано, что износ подшипников – причина резонансного состояния при поперечных колебаниях валопровода. Представлен разработанный метод определения допускаемого износа дейдвудного подшипника на основе расчета поперечных колебаний судового валопровода. Проанализированы три расчетные схемы в виде балки постоянного по длине сечения, которые опираются на упругие опоры. Упругие опоры моделируют дейдвудный подшипник. Для оценки влияния упругих свойств и износа дейдвудных подшипников на значение собственной частоты поперечных колебаний был использован метод начальных параметров. Т. 1. Ил. 3. Библиогр. 15 назв.

УДК 620.9:44.41.29 **Ключевые слова:** абсорбер, регулировочный клапан (РК), клапан рециркуляции, система очистки (СО), насос, привод, мощность, напор, производительность, осциллограмма, шлейф

А.Н. Дядик, Д.М. Кучинский, Д.О. Глазырина. Задача управления системой очистки рабочего газа с использованием электронасоса нерегулируемой производительности//*Морской вестник.* 2021. № 1 (81). С. 65

Представлены исходные уравнения к задаче управления системой очистки рабочего газа с нерегулируемым насосом и результаты расчета с использованием программы, составленной по этим уравнениям. Отмечено, что при работе при небольших давлениях внешней воды p_e и температурах t_e , когда напор, развиваемый нерегулируемым насосом, близок к максимальному, а расход через насос незначительно превышает заданный, энергозатраты на работу этого насоса и насоса переменной производительности в схемах системы очистки становятся сопоставимыми, и на первое место выходит более высокая надежность первого варианта исполнения системы подачи воды. В остальных случаях преимущество имеет второй вариант исполнения, когда используется насос переменной производительности. Особенно это актуально с экономических позиций, хотя привод насоса переменной производительности более сложный, и экономическое сравнение обоих вариантов требует дополнительного исследования. Ил. 2. Библиогр. 4 назв.

УДК 681.5 **Ключевые слова:** активный фильтр, анализ, моделирование, сигнал, силовые цепи

С.Г. Черный, А.С. Соболев, А.А. Зинченко, Е.Г. Зинченко, К.С. Чернобай. Эксплуатации судового оборудования на платформе интеллектуальных систем для повышения надежности работы систем автоматики//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 68

Суда имеют цельнометаллический корпус, который является проводником генерируемых помех при работе различного судового оборудования, поэтому рассматриваемая проблема актуальна. Проанализированы отечественные и зарубежные решения, реализованные за последние годы, выполнен обзор основных направлений внедрения активной фильтрации в сети с различными типами нагрузок. Ил. 8. Библиогр. 10 назв.

УДК 62–932.2 **Ключевые слова:** коалесцентный, сепаратор, МЕРС, нефтепродукты, испытания

М.А. Баранов, М.Ю. Хохлов. Исследование коалесцирующих свойств материалов в составе сепаратора очистки нефтесодержащих льяльных вод СНЛВ-5//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 73

Описан механизм создания и испытаний в ОО «Винета» коалесцирующего блока установки очистки нефтесодержащих льяльных вод, а также расчет его гидравлического сопротивления и проницаемости. Ил. 5. Библиогр. 3 назв.

УДК 629.564.3 **Ключевые слова:** пропульсивный комплекс, комплекс системы управления техническими средствами (КСУ ТС), главное распределительное устройство (ГРУ), частотные преобразователи (ЧП)

П.Г. Федоров, Е.В. Пименов. Соприжение компонентов и систем пропульсивного комплекса научно-исследовательского судна//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 77

Описаны основные компоненты пропульсивного комплекса и их взаимодействие с системой динамического позиционирования Dupros-2 (далее ДП) на примере научно-исследовательского судна. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

УДК 621.51 **Ключевые слова:** компрессор, разработка, проектирование, производство, востребованность

Л.Г. Кузнецов, Ю.Л. Кузнецов. АО «Компрессор» 145 лет не сдает передовых позиций в области производства компрессоров для всех типов судов и кораблей//*Морской вестник.* 2021. № 1 (81). С. 81

АО «Компрессор» входит в число ведущих российских разработчиков и производителей компрессорного оборудования. Им пройден путь от выпуска первых отечественных компрессоров до самых современных образцов компрессорной техники. В первую очередь коллектив обеспечивает нужды ОСК, и сегодня нет практически ни одного отечественного корабля, где не были бы установлены компрессоры АО «Компрессор». Кроме того, предприятие много и плодотворно работает в интересах ракетно-космической отрасли, ТЭК, включая атомную и нефтегазовую промышленность, выполняет заказы МЧС и РЖД. Предлагаемые решения позволяют эксплуатировать оборудование в самых сложных условиях. Продукция АО «Компрессор» поставляется за рубеж. Ил. 8.

УДК 621.396.962 **Ключевые слова:** излучающие цели, распознающая система, адаптация и обучение, дискриминантные функции, F-распределение, композиция законов распределения, теорема гипотез

Г.А. Коржавин, Ю.Ф. Подоплёткин, О.Г. Мальцев. Адаптация и обучение распознающей системы при байесовской классификации излучающих целей//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 87

Исследованы режимы адаптации и обучения распознающей системы в составе корабельного комплекса пассивной радиолокации, обеспечивающие повышение достоверности байесовской классификации излучающих целей. Разработаны структуры каталогов априорных данных в виде реляционных баз данных и интерфейс «оператор – система» для подготовки каталогов к работе в заданном тактическом районе. Т. 1. Библиогр. 7 назв.

УДК 656.61 **Ключевые слова:** безопасность плавания, а-Навигация, электронная картографическая навигационная информационная система, автономная навигационная система, навигационные задачи, система координированного управления

А.С. Корнев, А.С. Скрыпка, С.П. Хабаров. Автономное судовождение на действующих судах//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 92

Кратко описан опыт, полученный специалистами компании АО «Ситроникс КТ» по доработке действующих судов для реализации на них технологии автономного судовождения (а-Навигации). Освещена проблема отсутствия требований к дистанционному посту управления вне судна. Ил. 6. Библиогр. 9 назв.

УДК 681.532.8 **Ключевые слова:** навигация, управление движением, водоизмещающие суда, авторулевые

А.Г. Шпекторов, А.С. Корнев, Авторулевой «Румб»//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 95

Кратко изложены основные особенности разработанной компанией АО «Ситроникс КТ» изделия «авторулевой «Румб». Приведено его описание и перечислены функциональные возможности. Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

УДК 681.51 **Ключевые слова:** система управления, аппаратура контрольно-проверочная, стенд-имитатор, автоматизация испытаний

Д.С. Сверчков, С.В. Головкин. Цифровые имитаторы систем в роли контрольно-проверочной аппаратуры//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 99

Рассмотрено построение системы автоматизированной проверки функционирования для блоков управления различного назначения на основе цифрового имитатора моделей поведения исполнительных механизмов, подключаемых к блоку управления. Показаны состав и характеристики оборудования стенда-имитатора исполнительных механизмов, схема подключения к испытываемому блоку и пример интерфейса оператора. Ил. 12.

УДК 620:691 **Ключевые слова:** безопасность системы, опасное состояние системы, технический риск, ожидаемый ущерб, надводные корабли ВМФ, сложные технические системы, схема функциональной целостности, моделирование корабельного пожара

П.А. Зубков. Логико-вероятностная оценка противопожарной безопасности корабельных помещений при использовании инновационных технических решений компании «МКС»//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 103

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 жилых и служебных помещений в зависимости от применяемых материалов. Т. 3. Ил. 5. Библиогр. 8 назв.

УДК 629.584 **Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат, безэкипажное судно, газопровод, судно с экипажем

В.Г. Данилова. Технологии диагностики газопровода «Северный поток-2»//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 110

Рассмотрены варианты технологии диагностики газопроводов, проложенных по морскому дну на примере газопровода «Северный поток-2». Исследование выполнено в виде инициативной работы на кафедре «Проектирование и технологии производства морских подводных аппаратов и роботов ФМТ». Ил. 2. Библиогр. 6 назв.

УДК 656.61.052 **Ключевые слова:** кораблевождение, безопасность плавания, методика расчета нормативных показателей, нормативы по штурманской подготовке

П.С. Войцеховский, И.С. Гарматенко. Методика определения нормативных показателей кораблевождения и безопасности плавания//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 112

Представлено теоретическое обоснование результатов экспериментальных исследований установления нормативных показателей, применяемых для оценки уровня подготовки личного состава по кораблевождению и безопасности плавания. Т. 6. Библиогр. 4 назв.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** Ленинградское Адмиралтейское объединение, Ново-Адмиралтейский завод, Адмиралтейский завод, слияние, итоги в цифрах

От Ленинградского Адмиралтейского объединения до Адмиралтейских верфей//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 115

О работе Ленинградского Адмиралтейского объединения, предшественника вместе с Ново-Адмиралтейским заводом АО «Адмиралтейские верфи» Ил. 3.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** Морское министерство, Морской технический комитет, Первая мировая война, техническое условие, линкор, линейный крейсер

С.В. Федулов, Б.А. Барбанель, Д.А. Соловьев, А.А. Васильева. Строительство линкоров для Российского императорского флота в межвоенный период (1905–1914)//*Морской вестник.* 2022. № 1 (81). С. 117

Освещается проблема строительства новейших линкоров, линейных крейсеров после русско-японской войны и их судьба в период кризисов и катаклизмов. Ил. 5. Библиогр. 20 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 623.8 **Keywords:** shipbuilding, trends, ships of the main classes, development prospects, purpose of the Navy

V.N. Polovinkin, A.B. Fomichev. Shipbuilding activity of twelve countries of the world in 2021–2022 //Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 7

The description of two global trends influencing the change in the face of military operations at sea is given. The shipbuilding activity of twelve key players in the field of military shipbuilding is considered, statistical data on the composition of the navies of the leading countries of the world are given. The strategic goal of using the Navy in peacetime, in peacetime during a crisis situation, and also in wartime is revealed. T. 8. Fig. 1.

UDC 629.5.01 **Keywords:** ship composition, renewal, change of generations of ships, combination of approaches, forecast

A.V. Shlyakhtenko, I.G. Zakharov. When the new generation comes //Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 13

Approaches to planning the change of ship generations are analyzed. The construction of a new generation without taking into account the results of scientific and technological progress can lead to a disorderly process of forced modernization of serial ship complexes. The creation of a new generation of ships, based solely on the «new idea», disrupts the rhythm of generational change and leads to obsolescence of the ship's composition. Only a harmonious combination of approaches to the emergence of key models of new generation ships based on the forecast and to planning their commissioning can give the desired result. Fig. 4.

UDC 629.12:539.433 **Keywords:** steady-state oscillations, quasi-one-dimensional model, joint oscillations, inertial-stiffness characteristics, partial responses

A.L. Melkonyan, D.A. Nikolaev. Joint vibration of the ship's hull and its structural modules with a small interface area //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 17

The article proposes a number of approaches for calculating the joint vibration of the ship's hull and its structural modules (ship structures and devices). Calculation algorithms have been developed, the implementation of which makes it possible to uniformly solve problems of steady vibrations of structures modeled by quasi-one-dimensional models. The essence of the method is to correct and modify the values of the inertial-stiffness characteristics of such a model, as well as the load acting on it. A program for calculating the parameters of joint steady-state oscillations has been created. T. 1. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

UDC 004.021:523.3 **Keywords:**waveresistance,Froude number, ship waves, mathematical modeling, marine operations simulating system

V.G. Grachev. Ship waves interference accounting in the wave resistance mathematical modeling //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 22

The article discusses the physics of the bow and stern transverse ship waves interference phenomenon and describes a new scientific and technical solution – a

method to take into account the influence of interference in mathematical modeling of the ship movement wave resistance. Fig. 12. Bibliography 18 titles.

UDC 620.197.3 **Keywords:**lasertechnology,precision, cutting, welding, body assembly

D.A. Polyanskaya, V.I. Trusov. Method of temporary anticorrosive protection of stainless steels //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 31

The method of conservation of stainless steel during the execution of the order with the help of conversion phosphate coating «HOTEX» is considered. The formation of fine-crystalline medium phosphates of iron, zinc, chromium and nickel in the process of phosphating levels the electrochemical heterogeneity of the steel surface and improves its anti-corrosion properties. T. 1. Fig. 3. Bibliography 4 titles.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** propulsion module, ship power plant (PP), propulsion electric motor (PM), low-speed PPM, high-speed PPM, concept of substantiating the appearance of promising power plants

K.G. Golubev. On the issue of creating a propulsion module built into the shafting of promising multi-purpose surface ships//Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 33

Analysis of the data showed that the concept of substantiating the appearance of the power plant of promising multi-purpose ships in design bureaus-designers should be radically revised. In the new concept, there must be a place for a propulsion module built into the shaft line, which will help improve the combat and operational characteristics of promising surface ships. Fig. 7. Bibliography 7 titles.

UDC 621.438:620.193 **Keywords:** heat-resistant alloys, corrosion resistance, sea water salts

A.Z. Bagerman, S.A. Zavodov. Evaluation of the corrosion resistance of nickel-based heat-resistant alloys //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 37

Two methods are proposed for assessing the corrosion resistance of heat-resistant alloys, including «predictive» by the chemical composition of the alloy without a need for field trials. T. 3. Bibliography 9 titles.

UDC 629.12.037 **Keywords:** ship machines and mechanisms, parts, strength, endurance, fatigue, durability, crack, residual life

V.K. Rumb, Htoo Naing Aung. Ideological prerequisites for the transition from strength calculations to predicting the durability of ship machines and mechanisms //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 40

Methods for calculating the strength of parts of ship machines and mechanisms in the dialectical development, starting from static loading and ending with the action of variable stresses, are considered. Particular attention is paid to endurance calculations, because part failures are most often associated with material fatigue. It is proposed to evaluate the performance of parts not by strength, but by durability. The methodological provisions for predicting durability for the stage of nucleation and appearance of the first visible cracks and residual durability for the stage of crack growth to a critical size are given. Fig. 1. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.035.58 **Keywords:** coaxial contra-rotating propellers, power transmission

A.R. Togunjac, S.L. Anichkov, L.I. Vishnevsky. On the technical requirements for electrical power transmission to counter-rotating coaxial propellers//Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 43

The examples of the main design solutions of propulsors with contra-rotating propellers (CRP) are presented. The justification of technical requirements for electric power transmission to the CRP is given on the basis of generalized operational data for existing ships, as well as calculations of the ship propulsion of two typical ships with powers transmitted to the CRP of 1800 kW and 3000 kW. An estimate is given for the maximum permissible diameters of the nacelle diameter of the steerable propulsor with CRP with a power of 1800 kW and 3000 kW. Fig. 7. Bibliography 20 titles.

UDC 623.973 **Keywords:** converting devices, parallel connection, power summation

V.V. Fogel', V.Yu. Selyakova, V.N. Grachev. Parallel connection of energy converters in relation to systems for compensation of ship's magnetic fields//Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 49

The possibility of parallel connection of converter devices to increase the output power is considered. Mathematical calculations describing this solution are presented. Fig. 4.

UDC 629.12.8 **Keywords:** air independent power plant (AIP), unified gas turbine plant (YGTU), underwater vehicle, closed cycle, Arctic shelf, nuclear power plant

P.S. Andreev. Prospects for the use of an air-independent power plant with a closed-cycle gas turbine engine//Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 53

A AIP with a closed cycle gas turbine engine (CCG) is being considered, which can be used as part of an underwater technical facility intended for the development of the Arctic shelf. A description of the operation of the installation, its principal arrangement is given, as well as generalized conclusions are given on the feasibility of using AIP with a gas turbine engine of the closed cycle as a single gas turbine, the operation of which is expected to be submerged for a long time in conditions of continuous ice cover. Fig. 3.

UDC 629.12.037 **Keywords:** material fatigue, crack, residual life, calculation algorithm, stress intensity factor

V.K. Rumb, Htoo Naing Aung. Determination of the residual durability of parts with cracks in ship machines and mechanisms//Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 57

The main methodological provisions and the algorithm for calculating the residual durability of parts with cracks are given. Specific examples show the practical application of the proposed algorithm. It has been proved that in some cases parts with cracks have a sufficient margin of safety and can be used for a long time without breakage. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.035 **Keywords:**shipshafting,propellershaft, stern tube bearing, clearance, wear, transverse vibrations, elastic support, stiffness coefficient

A.A. Khalyavkin, S.A. Makeev, A.I. Mashchenko, D.O. Shatskov, A.Ya. Auslender. On one approach to the calculation of transverse vibrations of a ship's shafting, taking into account the wear of the stern tube bearing //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 62

The working condition of the shafting is considered depending on the size of the gap between the propeller shaft and the stern tube bearing, which increases due to the wear of the latter, as well as the existing methods for determining the allowable gaps in the bearing based on the parameters of the rotating shaft and the bearing assembly. It is indicated that bearing wear is the cause of the resonant state during transverse vibrations of the shafting. A developed method for determining the allowable wear of a stern tube bearing based on the calculation of transverse vibrations of a ship's shafting is presented. Three design schemes are analyzed in the form of a beam with a constant section along the length, which are based on elastic supports. Elastic supports model a stern tube bearing. To assess the effect of elastic properties and wear of stern tube bearings on the value of the natural frequency of transverse vibrations, the method of initial parameters was used. T. 1. Fig. 3. Bibliography 15 titles.

UDC 620.9:44.41.29 **Keywords:** absorber, control valve, recirculation valve, cleaning system, pump, drive, power, head, performance, oscillogram, loop

A.N. Dyadik, D.M. Kuchinsky, D.O. Glazyrina. The task of controlling the working gas cleaning system using an electric pump of unregulated capacity //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 65

The initial equations for the control problem for a working gas cleaning system with an unregulated pump and the results of calculations using a program compiled according to these equations are presented. It is noted that when operating at low pressures of external water p_e and temperatures t_e , when the pressure developed by an unregulated pump is close to the maximum, and the flow through the pump slightly exceeds the specified one, the energy consumption for the operation of this pump and the pump of variable capacity in the schemes of the purification system become comparable, and the higher reliability of the first version of the water supply system comes to the fore. In other cases, the second version has an advantage when a variable displacement pump is used. This is especially true from an economic point of view, although the variable displacement pump drive is more complex, and an economic comparison of both options requires additional study. Fig. 2. Bibliography 4 titles.

UDC 681.5 **Keywords:** active filter, analysis, modeling, signal, power circuits

S.G. Cherny, A.S. Sobolev, A.A. Zinchenko, E.G. Zinchenko, K.S. Chernobay. Operation of ship equipment on the platform of intelligent systems to improve the reliability of automation systems //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 68

Vessels have an all-metal hull, which is a conductor of generated interference during the operation of various ship equipment, so the problem under consideration is relevant. Domestic and foreign solutions implemented in recent years are analyzed, a review of the main directions for the implementation of active filtering in networks with various types of load is made. Fig. 8. Bibliography 10 titles.

UDC 62-932.2 **Keywords:** coalescent, separator, MEPC, oil products, tests

M.A. Baranov, M.Yu. Khokhlov. Investigation of the coalescing properties of materials in the composition of the SNLV-5 oily bilge water separator //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 73

A mechanism for the creation and testing of a coalescing block for an oily bilge water treatment plant at Vineta JSC is described, as well as the calculation of its hydraulic resistance and permeability. Fig. 5. Bibliography 3 titles.

UDC 629.564.3 **Keywords:** propulsion complex, complex of the technical means control system, main switchgear, frequency converters

P.G. Fedorov, E.V. Pimenov. Interfacing of components and systems of the propulsion complex of a research vessel //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 77

The main components of the propulsion complex and their interaction with the Dynpos-2 dynamic positioning system are described using the example of a research vessel. Fig. 3. Bibliography 3 titles.

UDC 621.51 **Keywords:** compressor, development, design, production, demand

L.G. Kuznetsov, Yu.L. Kuznetsov. Compressor JSC for 145 years has not lost its leading position in the production of compressors for all types of vessels and ships //Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 81

Compressor JSC is one of the leading Russian developers and manufacturers of compressor equipment. They have come a long way from the production of the first domestic compressors to the most modern models of compressor technology. First of all, the team provides for the needs of USC, and today there is practically not a single domestic ship where the compressors of Compressor JSC would not be installed. In addition, the enterprise works a lot and fruitfully in the interests of the rocket and space industry, the fuel and energy complex, including the nuclear and oil and gas industries, fulfills orders from the Ministry of Emergency Situations and Russian Railways. The proposed solutions allow you to operate the equipment in the most difficult conditions. The products of Compressor JSC are supplied abroad. Fig. 8.

UDC 621.396.962 **Keywords:** radiating targets, recognition system, adaptation and training, discriminant functions, F-distribution, convolution of distribution laws, hypothesis theorem

G.A. Korzhavin, Yu.F. Podoplyokin, O.G. Mal'tsev. Adaptation and training of a recognition system on the Bayesian classification of a radiating targets //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 87

The modes of adaptation and training of the recognizing system as part of the shipborne passive radar complex, which provide an increase in the reliability of the Bayesian classification of radiating targets, are studied. Structures of catalogs of a priori data in the form of relational databases and an interface «operator-system» were developed to prepare catalogs for work in a given tactical area. T. 1. Bibliography 7 titles.

UDC 656.61 **Keywords:** navigation safety, a-Navigation, electronic cartographic navigation information system, autonomous navigation system, navigation tasks, coordinated control system

A.S. Korenev, A.S. Skrypka, S.P. Khabarov. Autonomous navigation on existing ships //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 92

The experience gained by the specialists of Sitronics KT JSC in refining existing ships to implement autonomous navigation technology (a-Navigation) is briefly described. The problem of the lack of requirements for a remote control station outside the ship is highlighted. Fig. 4. Bibliography 5 titles.

UDC 681.532.8 **Keywords:** Navigation, traffic control, displacement ships, autopilots

A.G. Shektorov, A.S. Korenev. Rumb autopilot //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 95

The main features of the Rumb autopilot product developed by Sitronics KT JSC are briefly outlined. The description of the product is given and its functionality is listed. Fig. 3. Bibliography 3 titles.

UDC 681.51 **Keywords:** control system, control equipment, simulator, test automation

D.S. Sverchkov, S.V. Golovkin. Digital system simulators as test equipment //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 99

The construction of a system for automated testing of functioning for control units for various purposes based on a digital simulator of behavior models of actuators connected to the control unit is considered. The composition and characteristics of the equipment of the actuator simulator, the connection diagram to the unit under test and an example of an operator interface are shown. Fig. 12.

UDC 620;691 **Keywords:** system safety, dangerous state of the system, technical risk, expected damage, naval surface ships, complex technical systems, functional integrity scheme, ship fire simulation

P.A. Zubkov. Logical and probabilistic assessment of the fire safety of ship premises using innovative technical solutions of the MKS company //Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 103

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 conjunction with a mathematical model of the development of a fire in premises are illustrated, which make it possible to quantify the probabilistic characteristics of the fire safety of residential and office premises, depending on the materials used. T. 3. Fig. 5. Bibliography 8 titles.

UDC 629.584 **Keywords:** autonomous uninhabited underwater vehicle, unmanned vessel, gas pipeline, crewed vessel

V.G. Danilova. Diagnostics technologies of the Nord Stream 2 gas pipeline //Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 110

Variants of the technology for diagnosing gas pipelines laid along the seabed are considered using the Nord Stream-2 gas pipeline as an example. The study was carried out as an initiative work at the Department of Design and Production Technologies of Marine Submersible Vehicles and Robots of the FMP. Fig. 2. Bibliography 6 titles.

UDC 656.61.052 **Keywords:** navigation, navigation safety, methodology for calculating standard indicators, standards for navigational training

P.S. Voitsekhovskiy, I.S. Garmatenko. Methodology for determining the normative indicators of navigation and navigation safety //Morskoy vestnik. 2022. № 1 (81). P. 112

A theoretical substantiation of the results of experimental studies of the establishment of normative indicators used to assess the level of training of personnel in navigation and navigation safety is presented. T. 6. Bibliography 4 titles.

UDC 629.5 **Keywords:** Leningrad Admiralty Association, Novo-Admiralteysky Plant, Admiralteysky Plant, merger, results in numbers

From the Leningrad Admiralty Association to the Admiralty Shipyards //Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 115

About the work of the Leningrad Admiralty Association, the predecessor together with the Novo-Admiralteysky Plant of JSC «Admiralty Shipyards». Fig. 3.

UDC 623.8. **Keywords:** Maritime Ministry, Maritime Technical Committee, World War I, technical condition, battleship, battlecruiser

S.V. Fedulov, B.A. Barbanel', D.A. Solov'yov, A.A. Vasilyeva. Construction of battleships for the Russian Imperial Navy in the interwar period (1905-1914) //Morskoy Vestnik. 2022. № 1 (81). P. 117

After the Russian-Japanese War, it was necessary to recreate the fleet. The article highlights the problem of the construction of the newest battleships, battlecruisers and their fate during crises and cataclysms. Fig. 5. Bibliography 20 titles.