

Морской



Вестник

№1 (85)

М а р т

2 0 2 3

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



75 лет

НА СТРАЖЕ СВОБОДНЫХ МОРЕЙ



МАЛАХИТ

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОЕ
МОРСКОЕ БЮРО МАШИНОСТРОЕНИЯ

АО «СПМБМ «Малахит»
196135, Санкт-Петербург, ул. Фрунзе, 18.
тел.: (812) 242-85-85, факс: (812) 388-17-19
e-mail: info-ckb@malachite-spb.ru
www.malachite-spb.ru

Первые упоминания о возможности нахождения человека под водой с использованием специального устройства относятся к 450 г. до н.э. Такое устройство по форме напоминало колокол, который опускался сначала на дно рек, а потом и морей. Внутри он был заполнен воздухом и в нем, в зависимости от исполняемых задач, могло помещаться несколько человек. Этот единственный способ использования специального технического устройства для выполнения человеком подводных работ и военных операций продержался почти 2300 лет. Только во второй половине XVIII в. появился первый действующий подводный аппарат, а на рубеже XIX в. – первая мускульная подводная лодка.

Весь XIX в. для человечества в области подводного кораблестроения можно охарактеризовать как, поиск оптимальной архитектуры подводных лодок, применение различных двигателей для подводного хода, поиски приемлемого оружия для использования в военном деле. Россия активно участвовала в создании различных подводных кораблей и представляла самые новейшие изобретения для будущего подводного флота.

Первая отечественная мускульная металлическая ракетная подводная лодка генерал-адъютанта К.А. Шильдера, построенная в 1834 г. дала миру три новых изобретения для подводной лодки. Профессор Б.С. Якоби предложил поставить на подводную лодку гальваническую батарею, а профессор П.Л. Шиллинг электрический (угольковый) запал для подрыва пороховых ракет и пороховой бочки. Впервые на подводной лодке была применена «оптическая труба» (пробораз перископа) – «горизонтоскоп» конструкции академика М.В. Ломоносова и вентилятор для принудительной вентиляции воздуха в подводной лодке конструкции генерал-лейтенанта А.А. Саблукова [10].

Первая подводная лодка была опытовой и не участвовала ни в каких сражениях, но она дала толчок дальнейшему развитию подводного флота. После ее строительства началось изучение возможностей гальванического минного оружия. Для этого учредили Комитет о подводных опытах. Создание Комитета повлияло на интенсивные поиски в проектировании и реализации новых подводных лодок. Всего в XIX в. по четырём проектам К.А. Шильдера, И.Ф. Александровского, О.Б. Герна и С.К. Джевецкого были построены 53 металлические подводные лодки, не считая деревянных брандеров различных вариантов генерал-лейтенанта О.Б. Герна.

Почти до середины XX в. в мировом подводном кораблестроении преобладали дизель-электрические подводные лодки, которые, по существу, были ныряющими. Они не могли неограниченное

СТРАТЕГИЯ ПОБЕДЫ НА ИСТОРИЧЕСКИХ РУБЕЖАХ К 75-ЛЕТИЮ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО БЮРО МАШИНОСТРОЕНИЯ «МАЛАХИТ»

*А.Р. Знаменщиков, вед. специалист по истории проектирования
АО «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит»,
контакт. тел. (812) 242 8569*

время находиться под водой, и поэтому подводные лодки государства, преодолевшего этот рубеж, в полной мере имели право заявить свои притязания на господство в Мировом океане.

Поэтому важным великим открытием стало овладение человечеством ядерной энергией. В декабре 1946 г. в СССР был пущен первый в Европе ядерный реактор. В июне 1954 г. вошла в строй первая в мире атомная электростанция в г. Обнинск, а в декабре 1957 г. спущено на воду первое в мире атомное надводное судно – ледокол «Ленин».

17 декабря 1958 г. вошла в строй первая отечественная атомная подводная лодка (АПЛ), в дальнейшем получившая название «Ленинский комсомол». Этот день в нашей стране отмечается как день рождения атомного подводного флота [1, 3, 6]. Но для того, чтобы создать первую атомную подводную лодку, необходимо было пройти подготовительный эволюционный путь развития отечественного подводного кораблестроения.

Для этого после Великой Отечественной войны инженерам и конструкторам предстояло обогатиться мировым опытом подводного кораблестроения. Поэтому по директиве №0147 наркома ВМФ Адмирала флота СССР Н.Г. Кузнецова 23 июля 1945 г. в Германии создается Конструкторское бюро Военно-Морского Флота (КБ ВМФ) под началом капитана 1 ранга Л.А. Коршунова для сбора информации обо всех передовых разработках военного надводного и подводного кораблестроения. Это КБ находилось в подчинении главнокомандующего ВМФ Н.Г. Кузнецова [1, 6].

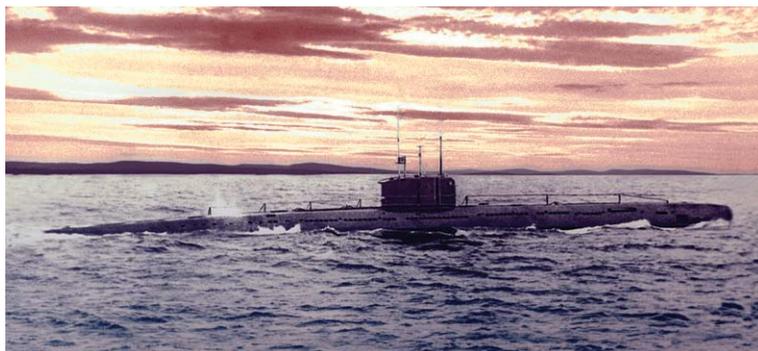
16 мая 1947 г. министр Вооружённых сил СССР Н.А. Булганин издает приказ о создании на территории Германии нового конструкторского бюро, сосредоточенного на сборе информации в интересах подводного кораблестроения. На основании этого приказа 18 июня 1947 г. на территории Германии издается приказ Главноначальствующего Советской военной администрации Германии (СВАГ) о реорганизации филиала научно-технического отдела (НТО) Технического бюро (ТБ) Министерства судостроительной промышленности (МСП) СССР в конструкторское бюро (КБ) под руководством инженера-капитана 1 ранга А.А. Антипина. В это новое КБ вошли и сотрудники КБ ВМФ в Германии капитана 1 ранга Л.А. Коршунова.

КБ, или как его еще называли «Бюро Антипина» должно было заниматься сбором чертежей кораблей, образцами морского оружия, том числе и восстановлением технической документации по парогазотурбинной установке Гельмута Вальтера (Hellmuth Walter) [1].

К 1947 г. был восстановлен не только проект немецкой подводной лодки XXVIW серии и ее энергетической установки, но и найдены на различных заводах некоторые большие фрагменты силовой установки Вальтера, в том числе парогазовая турбина и винтовой компрессор «Лисхольм» [6].

Руководители нашего государства, заботясь об обороне нашей родины, активно поддерживали передовые идеи при создании подводных лодок, работающих на новых принципах движения.

Продолжение см. на с. 6



Средняя ДЭПЛ пр. 617 с парогазотурбинной установкой в качестве «единого» двигателя

Морской Вестник



№ 1 (85)

м а р т

2 0 2 3

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, генеральный директор

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

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

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

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

Г.А. Туричин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

А.А. Веселов, врио генерального директора АО «Адмиралтейские верфи»

Н.М. Вихров, генеральный директор

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

В.Э. Гель, генеральный директор

АО «УК «Радиостандарт»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор

АО «СПМБМ «Малахит»

В.В. Дударенко, генеральный директор

ООО «Судпромкомплект»

М.В. Захаров, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

С.Н. Ирютин, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

М.В. Исполов, директор

ЗАО «ЦНИИ СМ»

Э.А. Конов, директор ООО Издательство «Мор Вест»

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ «Меридиан»

Г.А. Коржавин, научный руководитель

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, председатель совета директоров

АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

Н.В. Кулык, генеральный директор

АО «НПО Завод «Волна»

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

И.М. Мухутдинов, генеральный директор

ПАО «СФ «Алмаз»

О.А. Остапко, врио генерального директора

АО «Северное ПКБ»

Д.А. Посадов, врио генерального директора

АО КБ «Вымпел»

А.Г. Родионов, генеральный директор

АО «Ситроникс КТ»

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

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

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

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

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

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн «НПО «Аврора»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

И.В. Щербаков, генеральный директор

ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

- А. Р. Знаменщиков.** Стратегия победы на исторических рубежах. К 75-летию Санкт-Петербургского морского бюро машиностроения «Малахит» 1
- А. В. Архипов, Д. В. Курочкин, Г. В. Дикарев, П. А. Лукашевич, М. Ю. Гаршин, П. Г. Тенишев.** Обзор состояния ледокольных флотов береговой охраны и ВМС приарктических государств. Часть 2 13
- Ю. В. Баглюк, А. Д. Груверман, В. Р. Душко, М. П. Евстигнеев, В. Н. Пахомов.** «Пионер-М» – инновационное судно для проведения научно-исследовательских работ 23
- С. Ю. Афанасьева, А. В. Сердечный, С. М. Тимофеев, И. В. Щербаков, О. Г. Власов.** Анализ целесообразности применения технологий повышения энергетической эффективности на судне проекта ВС90 31
- Р. Н. Караев.** Инженерно-технологическое обеспечение кабелеукладочных работ. Часть 1 36
- Д. А. Посадов, И. Н. Котихин.** Работа в новых экономических условиях: вопрос замены судового комплектующего оборудования на примере реализации проекта MPSV06M 41
- Н. А. Тарануха, Мин Ко Ко.** Эффект предельного перехода и формулирование на его основе метода определения и систематизации коэффициентов демпфирования различных конструкционных материалов 42
- Ю. В. Дорогов, Б. П. Ионов.** Оптимизация производственных процессов конструкторского бюро судостроения на основе принципов функционирования системы электронной информационной логистики 47

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Памяти А. С. Бузакова* 53
- Е. В. Богданов, К. О. Будников.** Лазерная очистка и защита корпусов судов и кораблей от коррозии 54

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

- В. В. Барановский, П. Г. Печковский, А. В. Довличарова.** Новые подходы к использованию системы электродвижения на перспективных боевых надводных кораблях. Часть 2 59
- П. Г. Печковский, К. А. Ефремов.** О необходимости разработки корабельного газотурбинного двигателя большой агрегатной мощности 68
- А. Н. Дядик, А. В. Юшков.** Цифровой двойник электрохимического генератора 72
- А. Р. Тогуняц, С. Л. Анчиков, Л. И. Вишневецкий.** О применении соосных гребных винтов с электрической передачей мощности на малотоннажных судах 75
- Ю. В. Швед.** Самостабилизирующийся лопастной движитель 79



ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- А. Н. Попадъин, В. С. Кашлаков, А. А. Ольский, Е. А. Анисимов.** Разработка проблемно-ориентированного подхода к проектированию механических имитаторов комплекса полунатурного моделирования..... 85
- Ю. В. Копытов, Д. А. Скороходов.** Влияние алгоритмов системы управления движением на безопасность судна на подводных крыльях 88
- В. В. Потехин, П. К. Смирнов, П. Г. Федоров, Е. А. Черкашин.** Разработка и создание системы управления глубоководным гидравлическим манипулятором МГМ-7 с прототипированием на основе полунатурной модели с электрическим приводом. Часть 1 95
- В. Н. Грачёв, А. Ю. Смирнов, Б. Ю. Семёнов.** Опыт разработки универсальной вычислительной машины (УВМ) с применением перспективной элементной базы..... 97
- А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, В. А. Карпенко, Йе Мин Хтет, Хтут Шайн.** Автоматизированная генерация программных систем нечеткой обработки данных для устройств управления объектами судового машиностроения..... 101
- С. Н. Шаров, С. Г. Толмачев, В. В. Соловьёва.** Модель генератора динамического шума сигналов управления необитаемого подводного аппарата в режиме маневрирования по заданной программе 106
- В. А. Емельянов, С. Г. Черный, Н. Ю. Емельянова, К. В. Громов.** Архитектура информационной системы на судостроительных предприятиях в процессе идентификации ремонтных работ 108

МОРСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

- Д. В. Вавилов, В. В. Дударенко.** Проектный офис «Точка кипения для морской деятельности». Опыт работы..... 112

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

- В. Н. Половинкин, С. В. Федулов, А. Н. Конеев.** Деятельность кафедры тактических свойств боевых средств военно-морской академии в годы великой отечественной войны 117

В НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ

- В. С. Никитин.** Деятельность Российского научно-технического общества судостроителей в 2017–2022 годах и задачи его развития 120
- Семинары НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова 123
- Памяти Н. Я. Калистратова 125

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

- И. А. Лещенко.** 53-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания.... 127

Главный редактор

Э. А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д. С. Глухов

Тел.: (812) 6004586

Факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г. Н. Антонов, д-р техн. наук

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

А. И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.

Е. А. Горин, д-р эконом. наук

С. В. Дворников, д-р техн. наук, проф.

В. Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф.

Б. П. Ионов, д-р техн. наук, проф.

Д. В. Казунин, д-р техн. наук

Р. Н. Караев, канд. техн. наук

В. В. Кобзев, д-р техн. наук, проф.

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

П. А. Кротов, д-р истор. наук, проф.

П. И. Малеев, д-р техн. наук

Д. В. Никущенко, д-р техн. наук

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

В. Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф.

А. В. Пустошный, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН

А. А. Родионов, д-р техн. наук, проф.

К. В. Рождественский, д-р техн. наук, проф.

А. Б. Фомичёв, д-р техн. наук, проф.

В. И. Черненко, д-р техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т. И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С. А. Кириллов, В. Л. Колпакова

Адрес редакции

190068 Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

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

Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190068, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная библиотека» www.elibrary.ru и включена в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник» включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук. www.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс ПМ 467) может быть оформлена по каталогу Почты России «Подписные издания» или непосредственно в редакции журнала через издательство «Мор Вест»

Отпечатано в ООО «Типография «Премиум-пресс»

Адрес типографии: 190020, Санкт-Петербург,

Нарвский пр., д.18 лит. А

Тираж 400 экз. Заказ № 310

Дата выхода в свет – 9.03. 2023

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



Editorial Council

Chairman

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

Co-chairman:

M.V. Alexandrov, General Director JSC SSTC,
President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

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

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMDB Malachite

V.V. Dudarenko, General Director
JSC Sudpromkomplekt

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

VE. Gel, General Director JSC MC Radiostandart

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

M.V. Ispolov, Director JSC CRIME

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

A.A. Kopanov, General Director
JSC RPF Meridian

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

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

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

L.G. Kuznetsov, General Designer
JSC Compressor

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

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostapko, Acting General Director
JSC Severnoye Design Bureau

D.A. Posadov, Acting General Director JSC DB Vympel

A.G. Rodionov, General Director
JSC Sitronics KT

E.A. Rylov, General Director JSC PKB RIO

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

VA. Seredokho, General Director JSC SNSZ

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

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

A.A. Veselov, Acting General Director
JSC Admiralty Shipyards

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

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

ABSTRACTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- A. R. Znamenshchikov**. Strategy for victory at historical frontiers. To the 75th anniversary of the St. Petersburg Marine Design Bureau «Malachite»..... 1
- A. V. Arkhipov, D. V. Kurochkin, G. V. Dikarev, P. A. Lukashevich, M. Yu. Garshin, P. G. Tenishev**. Review of the state of the icebreaker fleets of the coast guard and the Navy of the Arctic states. Part 2 13
- Yu. V. Baglyuk, A. D. Gruverman, V. R. Dushko, M. P. Evstigneev, V. N. Pakhomov**. «Pioneer-M» – an innovative vessel for research work 23
- S. Yu. Afanas'eva, A. V. Serdechny, S. M. Timofeev, I. V. Shcherbakov, O. G. Vlasov**. Analysis of the feasibility of using technologies to improve energy efficiency on a vessel of the VS90 project 31
- R. N. Karaev**. Engineering and technological support of cable-laying works. Part 1.... 36
- D. A. Posadov, I. N. Kotikhin**. Work in the new economic conditions: the issue of replacing ship components on the example of the implementation of the MPSV06M project 41
- N. A. Taranukha, Min Ko Ko**. The effect of the limit transition and the formulation on its basis of a method for determining and systematizing the damping coefficients of various structural materials..... 42
- Yu. V. Dorogov, B. P. Ionov**. Optimization of production processes shipbuilding design bureau on the basis of the principles of the functioning of the system of electronic information logistics..... 47

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

- In memory of A. S. Buzakov*..... 53
- E. V. Bogdanov, K. O. Budnikov**. Laser cleaning and protection of ship hulls and ships from corrosion 54

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

- V. V. Baranovsky, P. G. Pechkovsky, A. V. Dovlicharova**. New approaches to the use of the electric propulsion system on advanced combat surface ships. Part 2 59
- P. G. Pechkovsky, K. A. Efremov**. On the need to develop a ship's gas turbine engine of large aggregate capacity 68
- A. N. Dyadik, A. V. Yushkov**. Digital twin of an electrochemical generator 72
- A. R. Togunjac, S. L. Anchikov, L. I. Vishnevsky**. On the Application of Contra-Rotating Propellers with Electric Power Transmission on Small-Tonnage Vessels 75
- Yu. V. Shved**. Self-stabilizing blade propulsion 79



INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- A. N. Popad'in, V. S. Kashlakov, A. A. Ol'sky, E. A. Anisimov.** *Development of a problem-oriented approach to the design of mechanical simulators of a complex of semi-natural modeling*..... 85
- Yu. V. Kopytov, D. A. Skorokhodov.** *Impact of motion control system algorithms of a hydrofoil ship*..... 88
- V. V. Potekhin, P. K. Smirnov, P. G. Fedorov, E. A. Cherkashin.** *Development and creation of a control system for the MGM-7 deep-sea hydraulic manipulator with prototyping based on a half-life model with an electric drive. Part 1*..... 95
- V. N. Grachyov, A. Yu. Smirnov, B. Yu. Semyonov.** *Experience in the development of a universal computer (UVM) using a promising element base*..... 97
- A. E. Vasil'ev, A. V. Wegner, V. A. Karpenko, Ye Min Htet, Htut Shain.** *Auto generation of fuzzy data processing soft-systems for ship machinery control devices*..... 101
- S. N. Sharov, S. G. Tolmachev, V. V. Solov'yova.** *A model of a dynamic noise generator of control signals of an uninhabited underwater vehicle in motion mode according to a given program*..... 106
- V. A. Yemel'yanov, S. G. Chernyi, N. Yu. Yemel'yanova, K. V. Gromov.** *The architecture of the information system at shipbuilding enterprises in the process of identification of repair work*..... 108

MARINE EDUCATION

- D. V. Vavilov, V. V. Dudarenko.** *Project office «Boiling point for maritime activities». Work experience*..... 112

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

- V. N. Polovinkin, S. V. Fedulov, N. A. Koneev.** *Activity of the Department of Tactical Properties of Military Equipment of the Naval Academy during the Great Patriotic War*..... 117

IN THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL ASSOCIATION OF SHIPBUILDERS

- V. S. Nikitin.** *The activities of the Russian Scientific and Technical Society of Shipbuilders in 2017–2022 and the tasks of its development*..... 120
- Seminars NTO shipbuilders named after Acad. A. N. Krylov*..... 123
- In memory of N. Ya. Kalistratov*..... 125

IN THE MARITIME ASSEMBLY

- I. A. Leshchenko.** *53rd Assembly of the Saint-Petersburg Maritime Assembly*..... 127

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc.

V.V. Baranovsky, D. Sc., Prof.

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

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

A.B. Fomichyov, 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.

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

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

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

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

P.I. Maleev, D. Sc.

D.V. Nikushchenko, D. Sc.

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

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

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

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

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

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 ПИМ 467) or directly at the editor's office via the Morvest Publishing House

Printed by Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation 400. Order № 310

Publication date – 9.03. 2023

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

Тем более, что мы не могли себе позволить никакого отставания ни в новых видах вооружения, ни носителей этого оружия.

31 марта 1948 г. Распоряжением Совета Министров СССР №3679pc и во исполнение его Приказом МСП СССР №00164 от 7 апреля 1948 г. было организовано Специальное конструкторское бюро № 143 (СКБ-143) в составе V Главного управления МСП. Бюро создавалось для проектирования высокоскоростных подводных лодок с нетрадиционной энергетикой [1, 6].

Необходимо было резко повысить боевую эффективность подводных лодок созданием «единого двигателя надводного и подводного хода».

В 1948 г. с первых дней существования бюро под руководством начальника и главного конструктора, инженер-капитана 1 ранга А.А. Антипина включилось в работы по созданию проекта ПЛ с парогазовой установкой (турбиной), используемой в качестве окислителя перекись водорода. Такая подводная лодка пр. 617 была спроектирована в бюро в 1949 г. [1, 6]. Строительство ее велось на Ново-Адмиралтейском заводе (завод «Судомех»), начавшееся в 1951 г. и завершившееся сдачей в 1956 г.

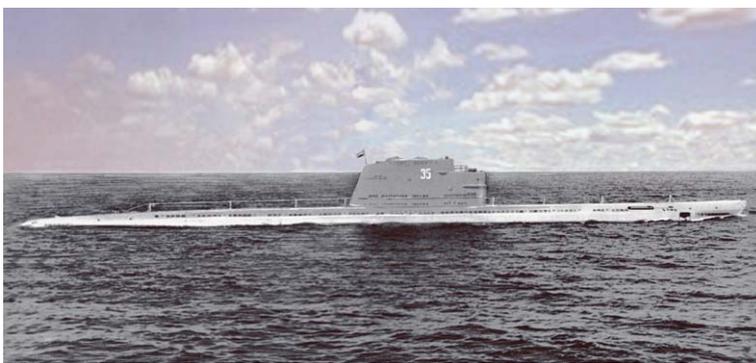
Но до сдачи ПЛ в 1953 г. после спуска на воду завершающие работы по кораблю были переданы в ЦКБ-18 (ныне – ЦКБ МТ «Рубин»). Большая часть личного состава СКБ-143 и документация по пр. 617 были также переданы в ЦКБ-18 [6, 8].

После реорганизации в бюро осталось работать 64 человека инженерно-технического состава, и оно было переориентировано на решение новых более сложных задач по созданию первой отечественной атомной подводной лодки (АПЛ).

С началом проектирования первой АПЛ необходимо было решить кадровый вопрос. До конца 1953 г. бюро пополнилось на 300 чел. конструкторского состава, из них 122 дипломированных инженеров и 100 техников. Также были приняты 30 молодых специалистов, а всего на первое января 1954 г. бюро насчитывало 453 чел. Конструкторы приходили в основном из ЦКБ-16, ЦКБ-17, ЦКБ-18, СКБ-194 и ЦНИИ-45 [6].

Начавшиеся в 50-х гг. интенсивные работы в области атомного подводного кораблестроения велись совместно с большим количеством других НИИ, бюро и научных предприятий (таких, как НИИХИММАШ – разработчика ЯЭУ с водо-водяным реактором под руководством главного конструктора Н.А. Доллежалея [6].

Главным конструктором первой АПЛ пр. 627 и начальником СКБ-143 в 1952 г. назначили инженер-капитан 1 ранга В.Н. Перегудова, переводя его из ЦНИИ-45 (ныне – ФГУП «Крылов-



Большая ракетная ДЭПЛ пр. В611

ский государственный научный центр»). Научным руководителем установки и корабля в целом стал заместитель директора «Курчатовского института» (ныне – НИЦ «Курчатовский институт») академик А.П. Александров, в дальнейшем президент АН СССР [6].

Всего шесть лет и три месяца потребовалось коллективу бюро от принятия решения по созданию первой отечественной АПЛ до ее вступления в состав ВМФ.

В нашем случае подводная лодка с ядерным реактором проектировалась специально с округлой носовой частью корпуса, что позволяло развивать более высокую скорость в подводном положении. Поэтому можно справедливо отметить, что с проектной точки зрения она стала первой в мире АПЛ в отличие от американской АПЛ USS-571 «Наутилус», принятой в состав флота в 1954 г. В США для постройки АПЛ использовалась немецкая дизель-электрическая подводная лодка XXI серии, в центральную часть которой врезали отсек с ядерным реактором. Обводы АПЛ «Наутилус» сохранили все признаки дизель-электрической подводной лодки, развивающей наибольшую скорость хода в надводном положении.

Подводная скорость АПЛ пр. 627 «Ленинский комсомол» была больше американской почти на 7 уз, глубина погружения больше на 87 м, число торпедных аппаратов больше на 2 ед., автономность больше почти в 2 раза [6].

В 1964 г. строительство серии из 13 АПЛ 1-го поколения проектов 627, 627А было завершено. В 60-е гг. XX в. отечест-

венные АПЛ совершили несколько дальних походов, среди которых подводная лодка «К-3» «Ленинский комсомол», первая из отечественных АПЛ, достигшая в июле 1962 г. Северного полюса [6].

Отработанная на АПЛ «К-3» пр. 627 атомная установка с ее конструктивными и инженерными решениями проложила дорогу отечественным АПЛ всех классов и назначений, дав начало атомному подводному кораблестроению в Советском Союзе.

За создание этого корабля в 1959 г. бюро наградили орденом Ленина, 104 человек – орденами и медалями, главный конструктор В.Н. Перегудов был удостоен звания Героя Социалистического труда. Несколько сотрудников также были удостоены звания лауреатов Ленинской премии [6].

Вслед за сдачей флоту первой АПЛ по документации бюро была построена и сдана в 1963 г. подводная лодка пр. 645, работу на которой начинал главный конструктор В.Н. Перегудов, затем передавший ее в 1956 г. главному конструктору А.К. Назарову, завершившему проектирование, строительство и сдачу корабля на заводе №402 в Северодвинске [5, 6].

Особенности этой подводной лодки заключались в применении новой паро-производящей установки, имевшей жидкий металлический теплоноситель (ЖМТ) в первом контуре – эвтектический сплав свинец–висмут. Более высокие параметры пара открыли возможность создания ЯЭУ с меньшими массогабаритными характеристиками и повышенным КПД в дальнейшем для лодок меньшего водоизмещения. Лодка с таким теплоносителем



Крейсерская ракетная ДЭПЛ пр. В629А



Крейсерская торпедная АПЛ пр. 627 с водо-водяным реактором

в первом контуре была первой не только в нашей стране, но и в мировой практике подводного кораблестроения [6].

В проектно-конструкторском отделе СКБ-143 активно велись поиски новых технических решений с целью создания малой боевой высоко автоматизированной АПЛ. Поставленные задачи можно было выполнить, применяя только принципиально новые технические решения. В отдельных случаях это приводило к отступлениям от существующих подходов к проектированию подводных лодок или реализации их другими способами и средствами. Результатами этих поисков стали работы по проектированию титановой, комплексно-автоматизированной ракетно-торпедной АПЛ пр. 705 (705К) 2-го поколения. Идею создания малой АПЛ как лодки-автомата – истребителя подводных лодок высказал в свое время академик А.П. Александров [6, 8].

При разработке этого проекта был осуществлен качественный прорыв к более совершенным решениям в области кораблестроения, электромашиностроения, материаловедения, автоматизации процессами управления лодкой и всего электронного оборудования. В том числе проведен глубокий поиск более рациональных принципов и норм проектирования боевых лодок. Все это позволило создать относительно малую подводную лодку с высокой боевой эффективностью. В ее проекте был впервые реализован целый ряд революционных технических решений:

- комплексная автоматизация управления работой всех технических средств на корабле в целом из единого главного командного пункта;
- автоматизация решения задач боевого управления кораблем и оружием на основе боевой информационно-управляющей системы;
- целостная концепция обеспечения спасения всего экипажа, в соответствии с которой все боевые посты и жилые помещения сосредоточены в одном отсеке, выделенные равнопрочными с прочным корпусом поперечными переборками и оборудованной всплывающей спасательной камерой для всего экипажа;

- использование ядерной паро-производящей установки с реактором, охлаждаемым жидкотеплопроводящим теплоносителем с прогрессивными массогабаритными параметрами;
- использование малогабаритной, блочной паротурбинной установки (на пр. 705К);
- применение высокопрочного титанового сплава в качестве материала корпуса;



Крейсерская титановая АПЛ пр. 661 с крылатыми ракетами

- внедрение электроэнергетической системы с использованием переменного тока с повышенной частотой;
- разработка новых торпедных аппаратов со всеглубинной гидравлической системой стрельбы.

Технический проект АПЛ был разработан в 1963 г. Построенная в «Ленинградском Адмиралтейском объединении» (ныне – АО «Адмиралтейские верфи») опытная лодка успешно прошла ходовые испытания и в 1971 г. была передана ВМФ в опытную эксплуатацию.

гих предприятий, участвовавших в создании корабля, были удостоены Ленинских и Государственных премий. От СКБ-143 лауреатом Ленинской премии стал главный конструктор В. В. Ромин.

Дальнейшим шагом в развитии подводного кораблестроения стало создание многоцелевых АПЛ 2-го поколения пр. 671 и их модификаций проектов 671РТ и 671РТМ под руководством главного, впоследствии генерального конструктора Г. Н. Чернышьева. Технический проект АПЛ пр. 671 завершился в 1960 г.,



Крейсерская многоцелевая титановая комплексно-автоматизированная АПЛ пр. 705 с ракетно-торпедным вооружением

а головная АПЛ принята флотом в ноябре 1967 г.

После приемки корабля на вооружение была построена самая многочисленная серия многоцелевых АПЛ в количестве 48 ед. Серия подводных лодок проектов 671, 671РТ, 671 РТМ строилась и модернизировалась с 1967 по 1983 г. Это был класс подводных охотников, предназначенных для слежения за подводными лодками противника. На тот период они были самыми совершенными кораблями, и одна из них достойно несет свою службу до настоящего времени [5].

АПЛ имели [9]:

- осесимметричную форму корпуса с оптимальными пропульсивными качествами обводами;
- крестообразное кормовое оперение, в котором большие горизонтальные рули дополнялись малыми рулями, предназначенными для управления на повышенных скоростях;
- носовую оконечность с совмещенным размещением в верхней части торпедных аппаратов;
- в носовой оконечности в нижней части размещался гидроакустический комплекс «Рубин» (в проекте 671РТМ – «СКАТ-КС»);
- обновальную главную энергетическую установку с одной турбиной и двумя реакторами;
- систему централизованного управления устройств, состоящих из различных механизмов, источников всевозможной информации, разнообразной арматуры, объединенные в понятие общекорабельные системы (ОКС);
- двухкорпусную архитектуру с развитым запасом плавучести, обеспечивающим выполнения требований по надводной непотопляемости [6].

31 января 1966 г. Приказом №0056 МСП СССР СКБ-143 получило наименование Союзное проектно-монтажное бюро машиностроения (СПМБМ).

В 60-е гг. начинает активно развиваться ракетно-торпедное вооружение для подводных лодок. В 1969 г. бюро отработало на специальных подводных лодках под руководством главного конструктора Р.А. Шмакова и передало ВМФ первый отечественный противолодочный ракетно-торпедный комплекс «Вьюга» для всех отечественных подводных лодок. За ним последовал ракетно-торпедный комплекс «Водопад» [1, 6].

В 1977 г. на вооружение принимается противолодочный комплекс «Шквал» с ракетой М-5. Скорость ракеты под водой на марше составляла 200 уз. Это был рекорд скорости подводного объекта. Следующим этапом было создание для АПЛ пр.671РТМ стратегической ракеты «Гранат», используемой в дальнейшем и на других подводных лодках [2, 6, 13].



Большая многоцелевая АПЛ пр. 671РТМ с ракетно-торпедным вооружением

С 1984 г. строительством завершающих четырех АПЛ пр. 671РТМК занимался главный конструктор Р.А. Шмаков.

Одновременно с СКБ-143 (в дальнейшем – СПМБМ) работы по созданию новейшей подводной техники велись и в ЦКБ-16.

15 октября 1949 г. по Постановлению Совета Министров СССР №4748- 1828рс «Об улучшении проектирования кораблей и о мерах помощи конструкторским бюро и научно-исследовательским институтам военного кораблестроения» и на основании Приказа МСП №001050 от 12 декабря 1949 г. было образовано Центральное конструкторское бюро №16 (ЦКБ-16) [7]. Ему была поставлена задача разработать проекты для тяжелых крейсеров и линкоров в интересах ВМФ СССР, но в дальнейшем бюро перефилировали на создание подводной лодки с воздуходезависимой энергоустановкой, а затем подводных лодок с баллистическим оружием.

Первое послевоенное десятилетие прошло под знаком стремительного развития науки и техники. Появился новый вид оружия – баллистические ракеты.

Правительство поручило Центральному конструкторскому бюро №16 работы по внедрению ракетного оружия на подводные лодки.

26 января 1954 г. Постановлением Совета Министров СССР и Приказом МСП №0075 от 02 февраля 1954 г. ЦКБ-16 было назначено головной организацией по исследованию возможности старта баллистических ракет с подводной лодки и по созданию первых боевых подводных лодок, вооруженных баллистическими ракетами [7]. ЦКБ-16 участвовало в создании первого и последующих комплексов ракетного оружия для всех отечественных ракетных дизель-электрических и атомных подводных лодок вплоть до ракетного комплекса Д-9 с ракетой Р-29Р и возможностью установки максимального количества ракетных шахт на подводные лодки.

Осуществляя задачи руководства страны по защите рубежей, специалисты бюро под руководством главного кон-

структора ракетной ПЛ Н.Н. Исанина в сотрудничестве с главным конструктором ракеты Р-11ФМ С.П. Королёвым ОКБ-1 и НИИ-88 (ныне – АО ЦНИИ-маш Госкорпорации «Роскосмос») спроектировали и обеспечили строительство подводной лодки «Б-67» пр. В611, с борта которой в сентябре 1955 г. произведен первый в мире пуск баллистической ракеты Р-11ФМ из надводного положения. Лодка строилась заводом №402 в г. Молотовск [7]. Этот пуск послужил началом создания нового класса подводных сил Отечества – ракетных подводных лодок стратегического назначения. В дальнейшем была построена серия ПЛ пр. АВ611 из пяти кораблей [5, 7].

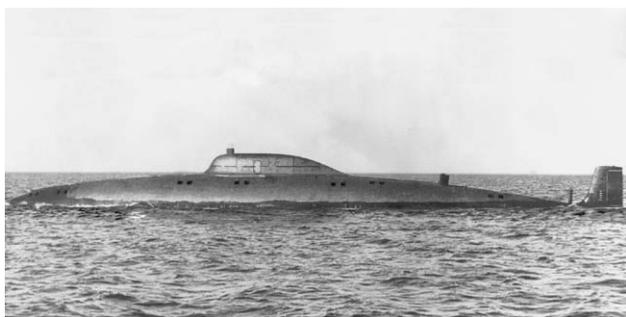
На базе первого поколения стратегических подводных лодок с баллистическими ракетами проектов 629 и 629А из 36 ед. впервые был создан морской компонент ядерной триады по защите Отечества.

Создание мощного ракетного подводного флота – одна из славных страниц отечественного подводного кораблестроения. За эти работы бюро было награждено орденом Ленина, большая группа специалистов – орденами и медалями. Академик Н.Н. Исанин – начальник, главный конструктор ЦКБ-16 был удостоен звания Героя Социалистического труда [7].

Новым этапом деятельности бюро стало создание первой в мире титановой скоростной АПЛ пр. 661 под руководством главного конструктора Н.Н. Исанина, а затем продолжившего и завершившего эти работы главного конструктора Н.Ф. Шульженко. Проект разрабатывался с учетом последних достижений науки и техники в области кораблестроения, машиностроения, металлургии и электроники [5, 6].

Значительный вклад в создание титанового сплава для корпуса этого корабля принадлежит ЦНИИ КМ «Прометей» (ныне этот коллектив входит в состав НИЦ «Курчатовский институт») под непосредственным руководством Г.И. Капырина и И.В. Горынина.

31 января 1966 г. Приказом №0056 МСП СССР ЦКБ-16 получило наиме-



Средняя опытовая ДЭПЛ-лаборатория пр. 1710



Большая ДЭПЛ – база-лаборатория пр. 1840

нование Центральное проектное бюро «Волна» (ЦПБ «Волна»).

Построенная на «Северном машиностроительном предприятии» в Северодвинске подводная лодка успешно прошла ходовые и государственные испытания и была передана флоту в 1969 г. Наряду с высокими показателями боевой эффективности на этом корабле была достигнута рекордная подводная скорость в 44,7 уз, никем в мире непревзойденная до сих пор. Корабль нес на своем борту 10 крылатых ракет «Аметист» с подводным стартом главного конструктора В.Н. Челомея.

23 февраля 1974 г. Приказом №00105 МСП СССР Союзное проектно-монтажное бюро машиностроения и Центральное проектное бюро «Волна» объединились в одно бюро – Союзное проектно-монтажное бюро машиностроения «Малахит» (СПМБМ «Малахит») [5, 6].

На смену второму пришло третье поколение многоцелевых АПЛ пр. 971 типа «Барс» генерального конструктора Г.Н. Чернышёва, а с 1997 г. генерального конструктора Ю.И. Фарафонтова [9]. Строительство многоцелевых АПЛ пр. 971 со стальным корпусом осуществлялось на двух заводах – ПО «Севмашпредприятие» в Северодвинске и заводе им. Ленинского комсомола в Комсомольск-на-Амуре [2, 9].

В АПЛ пр. 971 реализовали нетрадиционное решение по компоновке виброактивного оборудования в зональных, многопалубных блоках, отключенных от корпуса низкочастотными амортизаторами, компоновке блока паротурбинной установки, а также применению новых технических решений, таких как [9]:

- новая высокопрочная сталь для изготовления прочного корпуса;
- новая модификация паропроизводящей установки (ППУ) с улучшенной компоновкой и технологичностью;
- система безбатарейного расхолаживания ППУ с забортными титановыми теплообменниками;
- амортизированный главный упорный подшипник валопровода;
- легкая герметичная цистерна биологической защиты для снижения уровня радиоактивной следности;

- забортные откидные колонки резервного движительного комплекса;
- разрезные кормовые рули с тремя режимами работы;
- выдвижные носовые горизонтальные рули с закрылками;
- малогабаритные трехпозиционные кингстоны системы погружения и всплытия.

На АПЛ установили новейший гидроакустический комплекс «Скат», существенно повышающий боевую эффективность, а также ракетный комплекс «Гранат».

Главную АПЛ сдали в 1984 г. на заводе им. Ленинского комсомола в Комсомольск-на-Амуре, а в 1988 г. головную АПЛ на ПО «Севмашпредприятие» в Северодвинске [9, 11, 12].

В 2001 г. на ПО «Севмашпредприятие» был сдан последний седьмой корабль «Гепард». Всего на двух заводах было построено 15 АПЛ пр. 971 [4,11].

За создание АПЛ этого проекта генеральные конструкторы Г.Н. Чернышёв, Ю.И. Фарафонтов были удостоены звания лауреатов Государственной премии РФ. АПЛ пр. 971 по «шумности» сравня-



Малая торпедная ДЭПЛ специального назначения пр. 865

На серийных кораблях штатно поставили комплекс неакустического обнаружения, пусковые установки средств противодействия, аварийные системы порохового продувания ЦГБ, более совершенные модификации некоторых комплексов радиоэлектронного вооружения, внедрены десятки мероприятий по конструктивному улучшению акустического поля.

лись по своим характеристикам с лучшими АПЛ вероятного противника.

Наряду с проектированием АПЛ 3-го поколения в СПМБМ с 1980-х гг. начались активные проработки концепции и облика многоцелевой АПЛ 4-го поколения, получившую номер пр. 885.

В 1983 г. разработали технические предложения, а в 1986 г. выполнили и утвердили эскизный проект корабля. На



Большая многоцелевая АПЛ пр. 971



Атомный подводный крейсер «Северодвинск» пр. 885

ранних стадиях проектированием корабля занимался главный конструктор Г.П. Москалёв, а с марта 1985 г. главный, в дальнейшем генеральный конструктор В.Н. Пялов [9]. Под его руководством в 1990 г. разработали технический проект, а 21 декабря 1993 г. заложили атомный подводный крейсер (АПК) на ПО «Севмашпредприятие». Из-за отсутствия финансирования его строительство затянулось на длительное время. Сдача корабля произошла только 30 декабря 2013 г. [9].

Несмотря на то, что строился он почти 20 лет, заложенные в него проектные данные не устарели, потому что на протяжении всего строительства конструкторы постоянно улучшали характеристики корабля.

На заводских и ходовых испытаниях были подтверждены его технические возможности. По своим качествам подводная лодка пр. 885, получившая наименование «Северодвинск», стала самой современной многоцелевой подводной лодкой в мире.

В период строительства АПК «Северодвинск» Общество выполнило модернизационный проект. Последующие корабли строились и продолжают строиться уже по модернизированному проекту 885М под руководством генерального конструктора А.М. Антонова.

За последние годы ВМФ России получил еще два многоцелевых АПК «неядерного» сдерживания с дозвуковыми и сверхзвуковыми ракетами последнего поколения, такие как «Казань» и «Новосибирск», вступившие в строй в 2021 г.

За 75-летний период своей деятельности АО «СПМБМ «Малахит» в сотрудничестве с Министерством по атомной энергии, Российской академией наук, ведущими институтами и предприятиями (заводами) России, ведомствами и войсковыми частями ВМФ Минобороны РФ успешно создало океанский атомный, ракетно-ядерный флот страны.

Одной из задач, поставленной перед бюро в начале 70-х гг., стали глубоководные исследования для изучения Миро-

вого океана. 1 июля 1970 г. Приказом МСП №00357 ЦПБ «Волна» (бывшее ЦКБ-16) назначено головной организацией отрасли по проектированию обитаемых глубоководных объектов для освоения Мирового океана.

Им создано семейство подводных обитаемых аппаратов для изучения флоры, фауны и разведки полезных ископаемых на просторах океанов. Это буксируемые подводные аппараты «Тетис», подводные аппараты «Тинро-2», подводные базы-лаборатории «Бентос» с глубиной погружения до 300 м главного конструктора И.Б. Михайлова, автономные глубоководные аппараты «Север-2» с глубиной погружения 2000 м, «Поиск-2» с глубиной погружения 2000 м и «Поиск-6» с глубиной погружения 6000 м главного конструктора Ю.К. Сапожова [7, 14].

К концу 80-х г. XX в. завершились разработки по техническому заданию на проект обитаемого подводного аппарата «Русь», предназначенного для выполнения работ и исследований на различных глубинах Мирового океана, вплоть до 6000 м. Работы начинали главные конструкторы В.Г. Марков, с 1993 г. Е.М. Разумихин, а завершал с 2007 г. генеральный конструктор Ю.М. Коновалов [1, 14].

Прочный корпус аппарата, спроектированный по форме как сфера диаметром 2,1 м изготавливался из высокопрочного титанового сплава. Внут-

ри сферы располагались технические средства с органами управления аппаратом и средства жизнеобеспечения. Остальное оборудование, выполненное в погружном исполнении, вынесли за пределы прочного корпуса. Экипаж составил два-три человека.

Принятые технические решения с учетом перспективной радиоэлектроники, минимизации энергии на управление с использованием легковесного заполнителя (ЛВЗ) марки СВП-1 позволили получить водоизмещение аппарата в пределах 25 т.

Параллельно с автономным глубоководным аппаратом (АГА) «Русь» для морской геологии строился аппарат «Консул». Прочный корпус аппарата с иллюминаторами и приваренными легкими конструкциями прошел гидравлические испытания в док-камере ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова на давление в 720 кгс/см².

Постройку АГА «Русь» на АО «Адмиралтейские верфи» завершили в 1999 г., провели швартовные испытания и аппарат предъявили для проведения заводских ходовых и государственных испытаний в Балтийском море. Однако из-за событий, происходивших в России в конце XX в., сдача аппаратов и ввод их в эксплуатацию отодвинулись на долгие годы. Глубоководные испытания АГА «Русь» провели в 2006 г. в Атлантике, приемный акт утвердили в 2007 г. АГА «Консул» сдали в 2011 г. При проведении государственных испытаний «Консул» погрузился на глубину 6270 м.

Одновременно наравне с традиционными многоцелевыми АПЛ в бюро создавались неатомные подводные лодки специального назначения.

В 1960 – 1970 гг. для проведения фундаментальных научных исследований в области гидродинамики и акустики СПМБМ «Малахит» спроектировало дизельную ПЛ пр. 1710 под руководством главного конструктора Г.П. Москалёва, а для проведения экспериментальных работ по отработке средств и методов спасения экипажей подводных лодок путем свободного всплытия ПЛ



Автономный глубоководный аппарат «Консул» пр. 16811

пр. 1840 под руководством главного конструктора Е.С. Корсукова. Обе экспериментальные лодки строились в Ленинградском Адмиралтейском объединении в 1971 – 1987 гг. [1, 6, 8].

Научно-исследовательские работы по первой подводной лодке проводились с 1987 по 1991 г. на Севастопольской базе в Черном море под наблюдением 1 ЦНИИ МО СССР и при непосредственном участии бюро-проектанта, ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, Сибирского отделения АН СССР и Ленинградского кораблестроительного института.

Вторая предназначалась для проведения натуральных экспериментальных работ по отработке средств и методов спасения экипажей подводных лодок путем свободного всплытия на морских глубинах до 300 м. За 10 лет эксплуатации лодка прошла свыше 15 750 миль и провела на грунте 1600 часов.

В 1988 г. ВМФ была сдана сверхмалая подводная лодка пр. 865 «Пиранья» главных конструкторов Л.В. Чернопятава и Ю.К. Минеева, предназначенная для использования на мелководье с целью разведки и противодействия противнику. Вторая подводная лодка была сдана ВМФ в 1990 г. Лодки строились в Ленинградском Адмиралтейском объединении [5, 14].

Особенностями проекта являлись титановые корпуса, забортный комплекс для хранения, доставки и использования водолазного снаряжения, а также минного и торпедного оружия, малогабаритное оборудование, как радиоэлектронное, так и механическое, высокая степень автоматизации. Подводные лодки хорошо показали себя и во время испытаний, и в первые годы эксплуатации. Срок службы этих ПЛ составил менее 10 лет. В 1998 г. первая, а в 2001 г. вторая были выведены из строя и утилизированы.

В течение своего жизненного пути бюро проходило через многочисленную смену министерств, госкомитетов и переименований. Один из последних приказов МСП СССР за №415 был о переименовании СПМБМ «Малахит» в «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит», подписанный 29 ноября 1991 г. В течение следующих шести лет бюро побывало в двух министерствах и двух государственных комитетах.

После перехода в Министерство экономики РФ в соответствии с Приказом №28 от 29 января 1998 г. и на основании Постановления Правительства РФ №352 от 27 марта 1997 г. СПМБМ «Малахит» получило статус Государственного унитарного предприятия «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» (ГУП «СПМБМ «Малахит»),

В этом же году совместным Решением Министерства экономики РФ и ВМФ 10 декабря 1997 г. за ГУП «СПМБМ «Малахит» был «...закреплен статус базового предприятия по координации работ в судостроительной отрасли по энергетическим установкам, системам управления энергетическими установками, по ядерной и радиационной безопасности при проектировании, эксплуатации, выводе из действия и утилизации энергетических установок».

Распоряжением Российского агентства по судостроению №50 от 22 марта 2001 г. Бюро получило наименование Федерального государственного унитарного предприятия «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» (ФГУП «СПМБМ «Малахит»).

После перехода ФГУП «СПМБМ «Малахит» в Министерство промышленности и торговли РФ и на основании Указа Президента Российской Федерации от 21.03.2007 г. № 394 «Об открытии акционерного обществе «Объединенная судостроительная корпорация», предприятие 3 октября 2008 г. преобразовало в Открытое акционерное общество «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» (ОАО «СПМБМ «Малахит»). Смена формы собственности не повлияла на номенклатуру работ, выполняемых Обществом.

С 6 июля 2015 г. ОАО «СПМБМ «Малахит» реорганизовано в Акционерное общество «Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит» (АО «СПМБМ «Малахит») согласно Протоколу общего собрания акционеров.

СПМБМ «Малахит», работая на оборону страны, одновременно занимался и вопросами гражданской техники. В сотрудничестве с ООО «Газфлот» бюро разработало плавучую базу комплексного обеспечения бурения для плавучего бурового комплекса «Обский-1» сначала под руководством главного конструктора В.С. Комарова, а с 2003 г. главным конструктора В.С. Антонова. Судно

было построено на ОАО «Тюменский судостроительный завод».

На борту плавучей буровой установки, построенной по проекту ОАО «Коралл» и входящей в состав комплекса плавучей базы комплексного обеспечения бурения, установили коммуникационный мост разработки ФГУП «СПМБМ «Малахит». Коммуникационный мост предназначался для приема-передачи различных жидкостных газообразных сред, электроэнергии и команд управления между плавучей базой и буровой установкой в процессе бурения.

В 2007 г. плавучая база комплексного обеспечения бурения была сдана ООО «Газфлот». С помощью плавучего бурового комплекса «Обский-1» осуществлялось бурение разведочных и эксплуатационных скважин на газ и нефть на шельфовых территориях Ямало-Ненецкого автономного округа, Обской и Тазовской губ.

В рамках государственной программы «Развитие судостроения и техники для освоения шельфовых месторождений на 2013–2030 годы» в 2019 г. по заданию Минпромторга РФ конструкторское бюро осуществило технический проект, разработку рабочей конструкторской документации и строительство на ПАО «Ижорские заводы» опытного образца кустового манифольда. На нем была выполнена отработка конструктивных и технологических решений с учетом требований, сформулированных для объектов в составе системы подводной добычи газа Южно-Кириного газовоконденсатного месторождения.

Полученные по результатам создания опытного образца подводного манифольда компетенции будут использованы при строительстве серийных эксплуатационных манифольдов по обустройству морских месторождений арктического шельфа России, в первую очередь для системы подводной добычи (СПД) Южно-Кириного месторождения.

На протяжении нескольких последних лет АО «СПМБМ «Малахит» сов-



Плавучий буровой комплекс «Обский-1»



Подводный кустовой манифольд

местно с НИЦ «Курчатовский институт», АО «ПО «Севмаш», НПО «Винт», АНО «Центр подводных исследований Русского географического общества» участвует в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах по созданию отечественного обитаемого подводного аппарата (ОПА) с глубиной погружения до 2250 м с экипажем из трех человек. Он создается для выполнения работ по обеспечению эксплуатации морских магистральных газопроводов с целью повышения надежности и безопасности процесса транспортировки газа.

В той же кооперации в развитие работ над ОПА в обеспечение выполнения подводно-технических работ при эксплуатации объектов системы подводной добычи на глубинах до 3000 м Общество выполняет эскизное проектирование отечественного комплекса с телеуправляемым необитаемым подводным аппаратом рабочего класса (КТНПА), включая вспомогательное и навесное оборудование.

В целях диверсификации производства и наращивания доли гражданской продукции АО «СПМБМ «Малахит» совместно с ООО «ПКБ «Петробалт» и рядом других предприятий под руководством АО «ОСК» приступили к реализации проекта «Балкер» – навалочного транспортного судна неограниченного района плавания. Судно длиной 250 м будет перевозить навалочные грузы общей массой до 90 000 т.

Решение такого разнообразного и широкого круга задач оказалось возможным, благодаря сформированной в Обществе отечественной проектной школе, характеризующейся принятием самых передовых, новаторских решений на базе современных научных разработок,

четких представлений о потребности обороноспособности страны и государственных интересах в области освоения Мирового океана с учетом реальных возможностей и перспектив отечественной промышленности.

Она отличается также высоким уровнем промышленного дизайна, когда рациональность и системность технических решений выражается в красивом облике всех кораблей и объектов, построенных по проектам бюро.

Коллектив АО «СПМБМ «Малахит» является авангардом отечественного подводного кораблестроения, способным создавать сложные объекты морской техники для обороны страны и потенциальных заказчиков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дронов Б. Ф., Знаменщиков А.Р. Уникальные боевые подводные лодки и глубоководные аппараты России XX – XXI века: Краткая история ОАО «СПМБМ «Малахит»/ Глав. ред. В.Ю. Дорофеев, науч. ред. Р.А. Шмаков. – 2-е изд., испр. и дополн. – СПб.: ОАО «СПМБМ «Малахит», 2013. – 188 с.
2. Знаменщиков А. Р. Корабли и люди: Справочник. – Т. 5/ Глав. ред. В.Ю. Дорофеев, науч. ред. Р.А. Шмаков. – СПб.: ОАО «СПМБМ «Малахит», 2010. – 476 с.
3. Крылов В.В. 60 лет на службе в «Малахите»//Подводное кораблестроение. Прошлое, настоящее, будущее/ Глав. ред. Р.А. Шмаков. – СПб.: АО «СПМБМ «Малахит», 2015. – Вып. №29. – 286 с.
4. Подводная эскадра Севмаша/ Глав. ред. А.Б. Холодов, зам. глав. ред. Н.А. Власов. – Северодвинск: ОАО «ПО «Севмаш», 2010. – 238 с.
5. Подводные лодки России: Науч.-истор. справ. – Т. 5/ Авт.-сост. С.А. Новосёлов, В.П. Семёнов, С.С. Турунов, А.В. Круглова, Е.Г. Мачикин, А.Ю. Миронов, О.Ю. Митронина, М.Э. Морозов, науч.

ред. И.Д. Спасский, В.А. Кравченко. – СПб.: ФГУП «ЦКБ МТ «Рубин», 2007. – 374 с.

6. Разлётов Б.К. История Санкт-Петербургского морского бюро «Малахит». – В 5 т. – Т. 1: Специальное конструкторское бюро № 143 – Союзное проектно-монтажное бюро машиностроения. 1948–1974 гг./Науч. ред. А.В. Кутейников, Р.А. Шмаков, отв. ред. В.В. Климов. – СПб.: Гангут, 2002. – 488 с.
7. Шульженко Н.Ф., Ефимов И.В. История Санкт-Петербургского морского бюро «Малахит». – В 5 т. – Т. 2: Центральное конструкторское бюро № 16 – Центральное проектное бюро «Волна». 1949 – 1974 гг./ Под общей ред. А.В. Кутейникова, науч. ред. Р.А. Шмаков, отв. ред. В.В. Климов. – СПб.: СПМБМ «Малахит», 1995. – 296 с.
8. Шанихин Е.Н. История Санкт-Петербургского морского бюро «Малахит». – В 5 т. – Т. 4: Воспоминания ветеранов Санкт-Петербургского морского бюро машиностроения Малахит. 1948 – 1998 гг./Глав. ред. В. А. Остапенко, науч. ред. Р.А. Шмаков, отв. ред. А.Р. Знаменщиков. – СПб.: ФГУП «СПМБМ «Малахит», 2006. – 752 с.
9. Знаменщиков А.Р. История Санкт-Петербургского морского бюро «Малахит». – В 5 т. – Т. 3. – Ч. 1: Союзное проектно-монтажное бюро машиностроения «Малахит» – Санкт-Петербургское морское бюро машиностроения «Малахит. 1974 – 2018 гг./ Глав. ред. Н.А. Новосёлов, науч. ред. Р.А. Шмаков. – СПб.: АО «СПМБМ «Малахит», 2020. – 255 с.
10. Мазюкевич М. Н. Жизнь и служба генерала-адъютанта К.А. Шильдера: Биограф. очерк. – СПб.: Типография Департамента уделов, 1876 – 416 с. (с. 190 – 195).
11. Стирихин С.А. Надводные корабли, суда и подводные лодки постройки завода № 402 – ОАО «ПО «Севмаш» (1942 – 2014): Справ.- Северодвинск: ОАО «ПО «Севмаш», 2014. – 312 с.
12. Субмарины русского Севера/ ред. А.С. Бобрецов, Ю.В. Буянов, А.В. Жуков, К.П. Коваленко, В.Ф. Кологриев, И.В. Рашев, А.В. Сопочкин, А.Ю. Соколов, С.А. Спирихин, А.Б. Холодов. – Северодвинск: ОАО «ПО «Севмаш», 2011. – 228 с.
13. Ушенин Л. Н. 60 лет разработок торпедного оружия/ Л.Н. Ушенин и др. – СПб.: ОАО «НИИ мортеплотехники», 2008. – 312 с.
14. Шанихин Е.Н. «Малахит» – подводным силам России: Каталог. Подводные лодки, подводные аппараты и суда обеспечения, построенные по проектам СПМБМ «Малахит» в XX веке/ Е.Н. Шанихин, глав. ред. В.А. Остапенко, науч. ред. Р.А. Шмаков – 2-е изд., испр. и дополн. – СПб.: Гангут, 2006. – 192 с. ■

Норвегия

Руководство Норвегии рассматривает освоение Заполярья в качестве важнейшего приоритета своей внутренней и внешней политики. Национальная арктическая стратегия определяет пять основных направлений сосредоточения усилий:

- развитие международного сотрудничества с акцентом на взаимодействие в рамках Арктического совета (АС);
- содействие предпринимательской деятельности и бизнесу, использующим инновационные решения (морские биотехнологии, энергетика, разработка полезных ископаемых морского дна, морские перевозки и туризм);
- повышение качества образования и облегчение доступа к знаниям и навыкам в целях создания бизнес-сектора на севере страны;
- совершенствование инфраструктуры с опорой на развитие безопасной транспортной системы, надежную спутниковую навигацию, средства связи и систему наблюдения за климатом и окружающей средой;
- защита окружающей среды, сохранение уникальной экосистемы региона [26].

В целом можно отметить, что арктическая политика Норвегии направлена на поддержание мирного, инновационного и стабильно устойчивого положения Арктического региона. Патрулирование арктических вод декларируется как обеспечение поддержки суверенитета через эффект присутствия, а не с позиции силы. При этом необходимо помнить, что Норвегия – член НАТО и проводит политику в интересах этого блока, пытаясь использовать его как противовес российскому влиянию.

Экономическую стратегию Норвегии в Арктике характеризует инновационный подход. Эта стратегия опирается на высокие технологии, государственное регулирование добычи углеводородов, перспективное планирование, эффективную защиту окружающей среды при разработке углеводородных ресурсов, развитие альтернативных источников энергии и энергосбережение [27].

В настоящее время Норвегия располагает одним патрульным кораблем ледового класса «Svalbard» (рис. 14).

Этот корабль построен компанией Langsten AS на верфи Tangen Verft, в г. Крагере (Норвегия), спущен на воду в феврале 2001 г., передан Береговой охране в январе 2002 г. Основной задачей является патрулирование арктических вод, включая Баренцево море и прибрежные воды архипелага Шпицберген.

* Окончание. Начало см. «Морской вестник», 2022, №4 (84)

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ЛЕДОКОЛЬНЫХ ФЛОТОВ БЕРЕГОВОЙ ОХРАНЫ И ВМС ПРИАРКТИЧЕСКИХ ГОСУДАРСТВ ЧАСТЬ 2*

А.В. Архипов, д-р техн. наук, проф.,
зам. ген. директора по военному кораблестроению,
Д.В. Курочкин, канд. техн. наук, начальник отдела ВЭД,
Г.В. Дикарев, аналитик отдела ВЭД,
П.А. Лукашевич, переводчик отдела ВЭД,
АО «Северное проектно-конструкторское бюро»,
М.Ю. Гаршин, канд. техн. наук, доцент, гл. науч. сотрудник,
П.Г. Тенишев, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
НИИ КИВ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,
контакт. тел. (812) 702 3005, +7 (950) 012 2408



Рис. 14. Патрульный корабль «Svalbard»

«Svalbard» – одно из крупнейших судов норвежских вооруженных сил, первое судно, разработанное для Береговой охраны Норвегии (Kystvakt), спроектированное при этом по гражданским стандартам. Оно изначально предназначалось для усиления группировки из трех патрульных судов Береговой охраны типа «Nordkapp», которые также имеют ледовый класс (рис. 15).

«Svalbard» считается наиболее ледопродолимым кораблем Норвегии. Он способен преодолевать ледовые поля толщиной до 1 м, буксировать объекты массой до 100 000 т, осуществлять

ледовое патрулирование. На его борту имеются 12-тонный кран и оборудование для тушения пожаров на других судах. Вертолетная площадка и ангар в кормовой части корабля рассчитаны на базирование одного вертолета типа NH-90. При отсутствии необходимости эксплуатации вертолета вертолетная площадка и ангар могут быть использованы для транспортировки различных грузов.

Главная энергетическая установка (ГЭУ) – дизель-электрическая, в качестве движителей применены две азимутальные винторулевые колонки.



Рис. 15. Патрульный корабль «Nordkapp»

С военной точки зрения «Svalbard» имеет довольно скромное вооружение – одну носовую 57-мм АУ Bofors.

Как вооруженный корабль, «Svalbard» совмещает задачи патрулирования вместе с другими традиционными функциями Береговой охраны – осуществлением морских поисково-спасательных операций и поддержкой научных исследований, арктических и рыболовных.

В настоящее время в Норвегии реализуется программа строительства трех больших (полное водоизмещение – 9800 т патрульных ледоколов типа «Jan Mayen» (пр. Р6615). Корабли будут решать поставленные задачи в зоне интересов Норвегии, включая арктические воды. В перечень выполняемых задач включены поисково-спасательные операции и мониторинг окружающей среды.

В числе строителей кораблей – очень высокая доля норвежских субподрядчиков, что, несомненно, окажет существенное влияние на дальнейшее развитие отрасли (рис. 16 и рис. 17).

В октябре 2017 г. исполнителем контракта была определена дочерняя компания Fincantieri – норвежская Vard Group. Контракт на 5 млрд норв. крон (617 млн долл.) был заключен 25 июня следующего года и предполагает поставку кораблей в 2022–2024 гг. [29]. Следует отметить, что Vard Group – достаточно мощная компания, имеющая три верфи в Норвегии, две в Румынии и по одной в Бразилии и Вьетнаме [29]. Строительство новых кораблей осуществляется на верфи Vard Tulcea в Румынии, достройка и испытания – в Торемфьорде в Норвегии на верфи Vard Langsten.

Головной корабль благополучно прибыл в Норвегию в сентябре 2021 г., первый серийный, получивший имя «Vjornoya» – в марте 2022 г., поэтому вполне можно утверждать, что на данный момент работы идут в соответствии с графиком, по которому «Jan Mayen» планировалось передать флоту осенью 2022 г., «Vjornoya» – в 2023 г. и в 2024 г. третий ледокол серии «Nopen» [30]. В открытых источниках отмечается, что новые ледоколы заменят собой устаревшие патрульные корабли «Nordkapp», срок службы которых к тому времени превысит 40 лет.

На них есть ангар для вертолета типа NH90, но габариты вертолетной площадки позволят принимать более крупные вертолеты типа AW101. Значительное внимание уделено размещению на борту госпитального оборудования.

Вооружение – одно 40-мм орудие Bofors с системой управления огнем 9LV и два пулемета, предусмотрены погреба боезапаса для противолодочного вертолета. Корабли будут оснащены ГАС



Рис. 16. Буксировка корпуса ледокола типа «Jan Mayen» на достройку

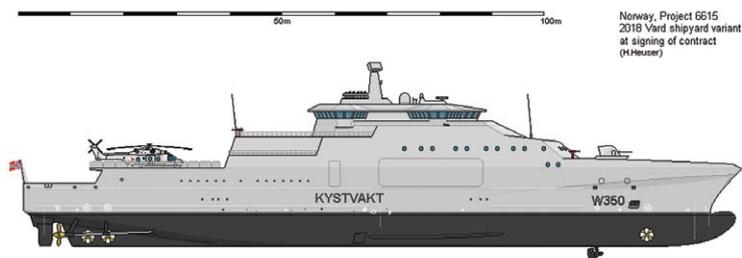


Рис. 17. Проектное изображение ледокола типа «Jan Mayen»

SS1221, способными обнаруживать торпеды и небольшие подводные объекты. Автономность – более 60 сут. Ледопробиваемость в открытых источниках не раскрывается, говорится лишь о том, что корпус корабля имеет усиленный ледовый класс.

ГЭУ – дизель-электрическая, двухвальная. В носовой и кормовой части расположены подруливающие устройства.

Стоит упомянуть еще один норвежский ледокол. Это научно-исследовательское судно, принадлежащее Арктическому университету Норвегии «Kronprins Haakon». Оно было построено итальянской фирмой Fincantieri и передано заказчику в апреле 2018 г. Строительство обошлось казне в 175 млн евро (рис. 18).

Длина ледокола – 100,4 м, ширина – 21 м, осадка – 8,6 м. На нем могут быть размещены 55 человек в 38 каютах, в том числе 15–17 членов экипажа. Суд-

но оборудовано ангаром для двух малых и средних вертолетов, при этом ВПП, расположенная в носовой части, предназначена для более тяжелых вертолетов, таких как NH90, эксплуатируемых Береговой охраной Норвегии, и Eurocopter AS332 Super Puma.

Корпус ледокола «Kronprins Haakon» спроектирован в соответствии с Едиными требованиями Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) для судов полярного класса, предназначенных для работы в зимних льдах с торосами, многолетними и глетчерными льдами. Имеет Polar Class 3 – для судов, предназначенных для «круглогодичной эксплуатации в двухгодичных льдах, которые могут иметь многолетние ледяные включения». Во время полномасштабных ледовых испытаний к северу от архипелага Шпицберген было установлено, что ледокол «Kronprins Haakon» способен



Рис. 18. Научно исследовательское судно «Kronprins Haakon»

ТТХ ледокольных судов Норвегии

Главные размеры, L x B x T, м	Водоизмещение полное, т	Вооружение	Авиационное вооружение	ГЭУ, тип, мощность	Скорость на чистой воде, уз	Дальность плавания, мили	Экипаж, чел.	Ледопробитость, м / скорость, уз
«Svalbard»								
103,7×19,1×6,5	6401	1×75-мм АУ	1 вертолет NH90	Дизель-электрическая 4 дизель-генератора (18 184 л.с.); 2 Азипода (13 410 л.с.)	17	10 000 - на скорости 13 уз	50	1 / ?
«Jan Mayen» (проект Р6615) (ориентировочные данные)								
136,4×22,0×6,2	9800	1×40-мм АУ 2×12,7-мм пулемета	1 вертолет NH90, может принимать AW101	Дизель-электрическая	22	?	55 + 45 дополнительных мест	? / ?
«Kronprins Haakon»								
100,4×21,0×8,6	9,145 GT	Отсутствует	Ангар для двух малых и средних вертолетов. ВПП для тяжелых вертолетов типа NH 90 b AS332	Дизель-электрическая 4 дизель-генератора (23 000 л.с.); 2 Азипода (15 000 л.с.)	15	15 000	15 + 40 дополнительных мест	1 / 4 торосы до 8 м

ломать 1-метровый лед с 20-сантиметровым слоем снега на постоянной скорости 4 уз, а также преодолевать ледяные торосы высотой до 8 м.

Ледокол «Kronprins Haakon» оснащен комплексом научного оборудования для проведения работ в области океанографии, морской биологии и геологии. Верхняя палуба предназначена в основном для проведения научных работ. На ней расположены 15 стационарных и 3 контейнерные лаборатории, холодильные складские помещения, большая рабочая палуба с грузовыми кранами и А-образной рамой для обеспечения траления, ангар и шахта размером 3×4 м для отбора проб и проведения операций с автономными и дистанционно управляемыми подводными аппаратами. Аппаратура подводной акустики установлена в двух выдвижных килях и в специальных «арктических резервуарах» для работы в ледовых условиях (табл. 4).

Очевидно, что Норвегия крайне серьезно и взвешенно подходит сегодня к созданию своего ледокольного флота, причем не только военного, но и гражданского. С большой долей вероятности можно предположить, что в целях достижения военно-политических и эко-

номических целей государство будет и в дальнейшем двигаться по пути наращивания своего присутствия в Арктическом регионе.

Россия

Основными целями России в арктической политике являются: использование природных ресурсов Арктики (в рамках российской территориальной зоны), защита и сохранение целостности ее экосистемы, использование ее морей как сбалансированной системы транспортных грузоперевозок в интересах государства, а также предотвращение политических угроз с целью стабильного развития региона и мирного сотрудничества. В настоящее время Россия поддерживает военное присутствие в Арктике и планирует его улучшить, а также усилить присутствие пограничной и береговой охраны.

Значение Арктики для России трудно переоценить. Как сказал президент России Владимир Владимирович Путин в декабре 2020 г. во время встречи с финалистами конкурса «Доброволец России»: «Все, что происходит на северах, представляет для нас особый интерес и особую ценность. Я даже не говорю сейчас об освоении Северного морско-

го пути. В целом в этом будущее наше, в том числе и с точки зрения добычи природных ископаемых в перспективе. Когда-то Ломоносов говорил, что Россия будет прирастать Сибирью. В следующие десятилетия Россия будет прирастать Арктикой и северными территориями. Это совершенно очевидные вещи» [29].

Россия обладает уникальным опытом проектирования, строительства и эксплуатации ледоколов с ядерной энергетикой. Первый в мире атомный ледокол «Ленин» пр. 92 был передан Министерству морского флота в декабре 1959 г., а выведен из эксплуатации через 30 лет, в 1989 г. Предусматривалась по мобилизационному варианту установка девяти 57-мм АУ ЗИФ-75 с тремя СУО «Фут-Б» и РЛС обнаружения «Ангара».

Ныне он поставлен на вечную стоянку рядом с морским вокзалом Мурманска, на его борту размещена музейная экспозиция. Ледокол включен в единый государственный реестр памятников культурного наследия федерального значения. (рис. 19).

Основой атомного ледокольного флота Советского Союза, а позже России стали ледоколы типа «Арктика»



Рис. 19. Атомный ледокол «Ленин»



Рис. 20. Атомный ледокол пр. 10520 «Арктика»



Рис. 21. Ледоотводные бульбы на атомном ледоколе «Россия»

пр. 10520. В 1970–1990 гг. было построено шесть кораблей этого типа, по состоянию на настоящий момент два из них («Ямал» и «50 лет Победы») остаются в строю (рис. 20).

На третьем корабле серии – «Россия» – было решено применить технические новшества: ледоотводные наделки и бульбы, пневмообмыв корпуса, обогрев пояса переменной ватерлинии и др. (рис. 21).

Ледокол «Ямал» сегодня специализируется на туризме, он совершил уже более 50 походов на полюс, и был первым ледоколом, достигшим Северного полюса недоступности в рейсах 1996 г.

Ледокол «50 лет Победы», последний в серии, построен по усовершенствованному пр. 10521 и имеет множество отличий от своих предшественников. У судна новая форма носовой оконечности, применены новые конструкционные материалы, в частности, ледовый пояс выполнен из биметаллических листов, что повышает льдопроходимость судна, а также увеличивает скорость и снижает энергозатраты. Это новшество также применено при проектировании перспективного ледокола «Лидер» (рис. 22).

На ледоколе установлена цифровая система автоматического управления нового поколения, модернизирован комплекс средств биологической защиты атомной энергетической установки.



Рис. 22. Атомный ледокол пр. 10521 «50 лет Победы»

Важной особенностью атомных ледоколов типа «Арктика» являлась возможность их быстрого дооборудования по мобилизационному варианту во вспомогательный крейсер. Так, например, на головном и первом серийном ледоколах пр. 10520 («Арктика» и «Сибирь») была предусмотрена возможность установки четырех АУ АК-726 с двумя системами управления МР-105, двух ЗРК «Оса-М» и РЛС общего обнаружения «Ангара-А», а на следующих в серии ледоколах «Россия» и «Советский Союз» предусматривалась установка двух 76-мм АУ АК-176М и четырех 30-мм АУ АК-630М с двумя системами управления «Вымпел-А» и РЛС общего обнаружения «Фрегат».

Для надежного круглогодичного функционирования одной из важнейших арктических линий Мурманск–Дудинка, где лимитирующим (по глубине фарватера) является енисейский участок трассы, нужны были более мощные мелкосидящие ледоколы, чем работавшие здесь дизельные ледоколы финской постройки типа «Капитан Сорокин» пр. 1101. Поскольку главным недостатком мелкосидящих ледоколов типа «Капитан Сорокин» была малая автономность по топливу и пресной воде, что нередко приводило к их простаиванию в русле Енисея, важным условием для новых судов были независимость от запаса топлива на борту и от бункеровочных

баз, а также повышенная льдопроходимость (рис. 23).

В 1980 г. было принято решение создать атомные мелкосидящие ледоколы мощностью 36 МВт. Два судна – «Таймыр» и «Вайгач» пр. 10580 – были построены в 1989–1990 гг. в Финляндии (ЯЭУ на эти ледоколы монтировалась в Ленинграде на Балтийском заводе) (рис. 24).

Ледоколы пр. 10580, сохранив все достоинства дизельных ледоколов типа «Капитан Сорокин», получили неограниченную автономность по топливу, возможность постоянно сохранять оптимальную для работы осадку, вдвое большую мощность силовой установки. В 2018 г. «Вайгач» побил мировой рекорд по длительности эксплуатации ЯЭУ, установленный атомным ледоколом «Арктика» в августе 2008 г.

Наиболее современные российские атомные ледоколы типа «Арктика» (пр. 22220 предназначены для замены судов типов «Арктика» и «Таймыр» по мере их списания. Это самые большие и самые крупные ледоколы в мире. Их главными задачами являются обслуживание Северного морского пути и проведение различных экспедиций в Арктику.

Отличительная особенность этих судов – способность менять осадку в процессе эксплуатации, что позволяет им эффективно работать как на глубокой



Рис. 23. Дизель-электрический ледокол пр. 1102 «Капитан Драницын»



Рис. 24. Атомный ледокол «Таймыр»



Рис. 25. Атомный ледокол пр. 22220 «Арктика»



Рис. 26. Проектное изображение атомного ледокола «Лидер» пр. 10510

воде, так и на мелководье в руслах сибирских рек. Это позволяет заменить новыми ледоколами и «Арктику» и «Таймыр» и, соответственно, уменьшить общую стоимость эксплуатации атомного ледокольного флота, полностью сохранив все его возможности (рис. 25).

Всего по данному проекту планируется построить семь ледоколов. Три судна уже приняты в эксплуатацию: «Арктика» (2020), «Сибирь» и «Урал» (2022).

Еще один ледокол – «Лидер» пр. 10510 – универсальный двухосадочный атомный ледокол мощностью на валах 120 МВт (вдвое больше, чем у ледоколов пр. 22220). Проектное водоизмещение – 70 000 т, что также вдвое превышает водоизмещение ледоколов типа «Арктика». Главные задачи этих судов – обеспечение круглогодичной навигации по Северному морскому пути и проведение экспедиций в Арктику. За счет увеличенной ширины корпуса возможна проводка крупнотоннажных судов (рис. 26).

Серию из трех ледоколов планируется построить на дальневосточном судостроительном комплексе «Звезда», в Приморском крае. В настоящее время ведется строительство головного ледокола (заложен в июле 2021 г.), получившего имя «Россия». Его ввод в эксплуатацию намечен на 2027 г.

Интересной технической особенностью пропульсивного комплекса новых судов является четырехвальная схема, принятая взамен традиционной трехвальной.

Атомная паропроизводящая установка состоит из двух реакторных установок «Ритм-400», максимально унифицированных с реактором «Ритм-200», созданным для ледоколов типа «Арктика». «Ритм-400» выполнен по двухконтурной схеме с четырьмя парогенераторами, интегрированными в корпус активной зоны. Главное отличие этой установки – увеличение мощности реактора в два раза. Это

позволит ледоколу преодолевать льды толщиной до 4,3 м непрерывным ходом с постоянной скоростью 1,5–2 уз (по некоторым данным, толщина преодолеваемого льда будет достигать 5,0 м).

В 1960-1970-х гг. строилась самая массовая в стране серия (32 единицы) дизель-электрических ледоколов по пр. 97 (97А, 97К, 97Е, 97АП, 97Д, 97Б, 97П, 97Н) – для ВМФ, морчастей Погранвойск КГБ, Министерства морского флота и других гражданских заказчиков, в том числе на экспорт. В военное время планировалось ледоколы проектов 97 и 97А вооружать одной 57-мм АУ и двумя 25-мм спаренными автоматами, а пограничный сторожевой корабль пр. 97П получил одну 76-мм артустановку АК-726 с СУО МР-105, две 30-мм АУ АК-630М, РЛС общего обнаружения «Рубка». Некоторые ледоколы из этой удачной серии до сих пор находятся в строю ВМФ и Береговой охраны (рис. 27).

В 2017 г. в строй вошел первый за последние 45 лет ледокол нового поколения, созданный исключительно для нужд ВМФ «Илья Муромец» (пр. 21180). Ледоколы этого проекта предназначены для обеспечения деятельности арктической группировки ВМФ России. Они должны выполнять в основном вспомогательные задачи, такие как буксировка кораблей, доставка грузов, прокладка пути во льдах, сбор разлившейся нефти, тушение пожаров. В некоторых источниках указывается, что по мобилизационному плану они могут быть вооружены артиллерийскими комплексами с возложением на них функции патрульных кораблей. Был построен только один корабль этого проекта (рис. 28).

Развитием ледокола пр. 21180 стал пр. 21180М, у которого уменьшены водоизмещение и осадка, что позволит использовать его в мелководных акваториях. По этому проекту построен пока только один корабль – «Евпатий Коловрат». Он предназначен для службы на Тихоокеанском флоте. Согласно актуальным планам, после передачи флоту



Рис. 27. Пограничный сторожевой корабль «Нева» пр. 97П



Рис. 28. Дизель-электрический ледокол «Илья Муромец»



Рис. 29. Проектное изображение ледокола «Евпатий Коловрат»

«Евпатия Коловрата» состоится закладка второго ледокола этого проекта. Его планируют достроить и передать флоту до 2027 г., т.е. до конца действующей госпрограммы вооружений. Точные сроки закладки и спуска на воду, а также название судна пока не объявляли. Сообщалось, что второй ледокол предназначен для Северного флота [32] (рис. 29).

Программа строительства кораблей пр. 21180/21180М была резко сокращена в пользу создания боевых ледоколов пр. 23550. Официально они классифицируются как *универсальные патрульные корабли* (шифр «Арктика») и *пограничные сторожевые корабли* (шифр «Ермак»), отличающиеся в основном по составу вооружения. Они способны выполнять задачи ледокола, буксира, пожарного судна и военного корабля. Могут эксплуатироваться в любых районах плавания, от тропических до арктических, преодолевая лед толщиной до 1,7 м (рис. 30).

Головной корабль пр. 23550 для ВМФ России «Иван Папанин» (рис. 31) был заложен в Санкт-Петербурге в 2017 г., спуск на воду состоялся в 2019 г. Второй корабль проекта – «Николай Зубов» – планируют спустить на воду в 2024 г. В октябре 2022 г. был спущен на воду пограничный ледокол «Пурга»



Рис. 30. Проектное изображение патрульного ледокола пр. 23550



Рис. 31. Патрульный ледокол «Иван Папанин» после спуска на воду

(шифр «Ермак») (рис. 32). Второй корабль в интересах Пограничной службы планируется заложить в 2023 г.

Основная задача кораблей типа «Иван Папанин» – охрана арктических водных ресурсов. Корабль может поражать морские, береговые и воздушные цели противника, но также ему могут быть поставлены задачи по оперативной доставке для научных и военных баз в Арктике модулей с ремонтными мастерскими, медицинскими и жилыми блоками и по перевозке групп специалистов.

Ледокол имеет усиленный корпус и другие особенности конструкции, обеспечивающие работу в Арктике. Ледовый класс корабля – Arc7, он способен преодолевать льды толщиной до 1,7 м, при этом лед толщиной 1 м преодолевается на непрерывном ходу.

Уникальной особенностью этого боевого ледокола является возможность приема на борт двух контейнерных пусковых установок ракетного комплекса «Калибр-К», в каждой из которых размещаются 4 крылатые ракеты типа ЗМ-14 (для стрельбы по береговым целям) или ЗМ-54 (с противокорабельными ракетами (ПКР)). Также возможен вариант с установкой двух контейнеров с четырьмя ПКР типа ЗМ-24 «Уран». Артиллерийское вооружение корабля включает в себя артиллерийскую установку АК-176МА, пулеметные установки и ПЗРК.

Корабль несет на борту два скоростных патрульных катера пр. 03160

ТТХ ледокольных судов России

Главные размерения, LxBxT, м	Водоизмещение полное, т	Вооружение	Авиационное вооружение	ГЭУ, тип, мощность, МВт	Скорость на чистой воде, уз	Дальность плавания, мили	Экипаж, чел.	Ледопроеходимость, м/скорость, уз
«Арктика» (пр. 10520)								
147,9×30,0×11,0	25 840	Предусматривалось в проекте	2 вертолета Ми-8	Ядерная 56	18,6	Неограниченная	145	5,0/2,0
«Вайгач» (пр. 10580)								
151,8×29,2×8,1	20 791	Предусматривалось в проекте	1 вертолет Ми-8	Ядерная 36,8	18,5	Неограниченная	89	1,77/2,0
Арктика (пр. 22220)								
172,7×34,0×10,5	33 540	Отсутствует	Вертолет Ка-32 или Ми-8	Ядерная 60	22,0	Неограниченная	54	3,0/2,0
«Лидер» (пр. 10510) (ориентировочные данные)								
209,0×46,0×13,0	71 380	Отсутствует	Вертолет Ка-32 или Ми-8	Ядерная 120	23,0	Неограниченная	127	5,0/2,0
«Илья Муромец» (пр. 21180)								
85,0×20,0×6,8	6000	Отсутствует	Вертолет Ка-32	Дизель-электрическая, 10,4	15,0	9000	32	1,0/2,0 1,5/1,0
«Арктика» (пр. 23550)								
114,5×19,5×6,5	8500	1×76,2-мм АУ 2×30-мм АУ 4×12,7-мм пулемета ПЗРК 2×4КР «Калибр» 2×4ПКР «Уран»	Вертолет Ка-27 или Ка-226 БПЛА в подпалубном ангаре	Дизель-электрическая, 12,6	18,0	10 000	60+50 (дополнительный экипаж)	1,7/1,0
«Ермак» (пр. 23550)								
114,5×19,5×6,5	8500	Артиллерия: 1×76,2-мм АУ 2×30-мм АУ 12,7-мм пулеметы ПЗРК	Вертолет Ка-27 или Ка-226 БПЛА в подпалубном ангаре	Дизель-электрическая, 12,6	18,0	10 000	60+50 (дополнительный экипаж)	1,7/1,0



Рис. 32. Модель пограничного сторожевого корабля ледового класса «Пурга»

«Раптор» и десантный катер на воздушной подушке пр. 23321 «Манул». Авиационное вооружение включает в себя 1 вертолет типа Ка-27 или Ка-226, а также БПЛА в палубном ангаре. На пограничный ледокол предусмотрен прием вертолетов типа Ми-8/Ми-17.

Несомненно, ледоколы пр. 23550 по совокупности своих характеристик и возможностей превосходят зарубежные корабли аналогичного назначения.

Российская Федерация, как наследник СССР, имеет колоссальный опыт и потенциал в области проектирования и постройки ледоколов всех классов и назначений, включая наиболее сложные атомные ледоколы.

Нельзя, однако, забывать, что риски интеллектуального опережения в этой области Китаем и странами Ближнего Востока чрезвычайно высоки, что объясняется в первую очередь развитием информационных технологий, а также колоссальным экономическим скачком. Текущей задачей является удержание преимуществ РФ в этом секторе судостроения. Для этого требуется разработать концептуальную программу развития в области освоения Арктики, ключевой ролью в которой, безусловно, будет строительство ледокольного флота и боевых надводных кораблей ледовых классов.

Программа развития региона будет строиться вокруг эксплуатации Север-

ного морского пути по мере добычи полезных ископаемых (в основном нефти и газа).

Насыщение группировки ледокольного флота должно двигаться по мере повышения темпов и объемов добычи. Здесь под группировкой понимается арктический добывающий комплекс (АДК), который включает:

- добывающие морские и наземные платформы;
- транспорт, доставляющий грузы на материк;
- портовые и перерабатывающие терминалы;
- инфраструктуру населенных пунктов, обеспечивающих эти терминалы рабочей силой;
- ледокольный гражданский флот, который будет обеспечивать проводку для строительства добывающих платформ и флота судов-челноков;
- боевые надводные корабли ледового и ледокольного классов, которые обеспечивают безопасность и охрану как самих добывающих платформ и транспортов в море, так и приемных и перерабатывающих терминалов прибрежной зоны;
- транспортные терминалы: железные дороги, трубопроводы, автомобильный и речной транспорт.

Построение столь сложной структурной схемы предстоит вести с учетом

объема всех видов обеспечения, а также транспортной логистики. Для разработки концепции создания арктического ледокольного флота боевых надводных кораблей требуется применение инновационных разработок в данной области, например корпусов нетрадиционной геометрии, специальных ледокольных наделок, инновационных средств порожения.

Для достижения господства в Арктике предстоит сформировать целевую программу, базирующуюся на накопленном опыте и новых прорывных отечественных технологиях с учетом в краткосрочном прогнозе роста цен на энергоносители, геополитическую обстановку, изменение климата в Арктике, т. е. факторов, которые определяют рентабельность добычи полезных ископаемых и углеводородов.

Следует отметить, что практически все отечественные ледоколы, включая атомные, проектировались с учетом возможности установки на них вооружения в период эскалации, т. е. являлись судами двойного назначения. В настоящее время универсальные патрульные корабли, строящиеся по пр. 23550, по своим основным параметрам значительно превосходят зарубежные аналоги, рассмотренные в данном обзоре. Тем не менее, несмотря на испытываемые приарктическими государствами трудности в реализации своих ледокольных программ, все они имеют достаточно четкие цели, задачи и стратегию. Все эти страны являются членами Североатлантического альянса. Их программы являются частью общего замысла кооперации стран блока НАТО, в который планируют вступить Швеция и Финляндия, для освоения Арктического региона. Так, например, в рамках этой кооперации в апреле 2022 г. были проведены учения НАТО «Cold Response 2022», морская часть которых проходила в Норвежском море. В ходе этих учений силами «оборонительного» блока отрабатывалась высадка десанта на побережье под прикрытием сил флота и авиации.

В текущей геополитической обстановке очевидно назревание «битвы за Арктику». Готовиться к ней необходимо уже сейчас.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мальшева Мария*. Запасы, которые трудно извлечь // Газета.ru – 2012. – 26.05.
2. *Лукин Ю.Ф.* Население и территория приарктических государств в геополитическом пространстве Арктики // Региональная геополитика. – 2010. – № 3(11).
3. *Храмчихин А.А.* Значение Арктики для национальной безопасности России, Китай может стать арктической державой // Арктика и север. – 2005. – № 21.
4. *Толстокулаков И.А.* Арктическая политика Южной Кореи и национальные интересы России // Международные отношения. – 2018. – № 1.
5. *Антонов А.* Взгляды специалистов ВМС США на применение флота в Арктическом регионе // Зарубежное военное обозрение. – 2021. – № 6.
6. *Мухин Владимир*. Американские корабли начнут патрулирование у северных берегов России // Независимая газета. – 2020. – 14.01.
7. *Мухин Владимир*. Американцы ответят на российскую вечеринку в Арктике милитаризацией // Независимая газета. – 2020. – 23.07.
8. Шойгу заявил об увеличении числа боевых кораблей США в Арктике // РИА Новости, 2020, 21.12.
9. *Журавель В.П.* Гонка ледоколов в арктике/Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт Европы РАН»//Аналитическая записка. – 2020. – №31(№214).
10. <https://news.usni.org/2022/03/01/report-to-congress-on-coast-guard-polar-security-cutter-17/Report to Congress on Coast Guard Polar Security Cutter 2022, March 1>.
11. *Белов А.* <https://regnum.ru/news/polit/3135655.html>./National Interest. – 2020. – Декабрь.
12. <https://news.usni.org/2022/03/01/report-to-congress-on-coast-guard-polar-security-cutter-17/Report to Congress on Coast Guard Polar Security Cutter, 2022, March 1>.
13. Halter Marine получила контракт на строительство второго ледокола Polar

- Security Cutter для Береговой охраны США, 2022, 2 января. – <https://neftegaz.ru/news/Suda-i-sudostroenie/719500-halter-marine-poluchila-kontrakt-na-stroitelstvo-vtorogo-ledokola-polar-security-cutter-dlya-beregov/>
14. <https://www.polarjournal.ch/en/2022/03/14/new-us-icebreaker-named-polar-sentiel/>
 15. Единственный тяжелый ледокол США, 2020, 22.05. –
 16. *Виталин А.* Деятельность международных организаций и иностранных государств в Арктическом регионе // Зарубежное военное обозрение. – 2020. – №4. – С. 20-21.
 17. <https://www.globalsecurity.org/military/world/canada/ccgs-diefenbaker.htm> / CCGS John G. Diefenbaker Polar Class Icebreaker
 18. Иностранная военная хроника. Канада // Зарубежное военное обозрение. – №10. – 2022. – С. 93.
 19. *Береговой А.* HMCS Harry DeFol AOPV430. Патрульный корабль ледового класса типа DeFol ВМС Канады (2020) // Зарубежное военное обозрение. – 2020. – № 9. – С. 73–77.
 20. Канада построит шесть боевых ледоколов», 12.04.2021. – <https://goarctic.ru/politics/kanada-postroit-shest-boevykh-ledokolov/>
 21. Дания усиливает свое присутствие в Арктике // Зарубежное военное обозрение (Интернет-сайт). – 2021. – 4 апреля.
 22. *Рябов К.* Многоцелевой катер Strb 90H и его модификация // Военное обозрение. – 2013. – 1.08. – <https://topwar.ru/31505-mnogocelovoy-kater-strb-90h-i-ego-modifikacii.html>
 23. <https://www.seaforces.org/marinit/Danish-Navy/Offshore-Patrol-Vessel/Knud-Rasmussen-class.htm>
 24. Janes Fighting Ships, 2020
 25. *Дзюбан В.В.* Арктическая политика Норвегии в XXI веке // Архонт (Электронный науч. журнал). – 2019. – №6. – С. 4–9.
 26. <https://www.naval-technology.com/projects/jan-mayen-class-vessels/>
 27. <https://www.fincantieri.com>
 28. <https://www.navalnews.com/naval-news/2022>
 29. *Путин В.В.* Россия в следующие десятилетия будет прирастать Арктикой и Севером // Коммерсантъ. – 2020. – 5.12. – <https://www.kommersant.ru/doc/4602866>.
 30. <https://topwar.ru/177378-proekt-21180m-ledokoly-buduschego.html> ■

В августе 2022 г. завершены ходовые испытания научно-исследовательского судна (НИС) «Пионер-М», построенного АО «Средне-Невским судостроительным заводом».

«Пионер-М» (рис. 1) – первое отечественное судно катамаранного типа, созданное в последние годы в классе научно-исследовательского флота, предназначено для эксплуатации «Севастопольским государственным университетом» (СевГУ) в акваториях Черного и Азовского морей. Концепция многофункционального судна разработана консорциумом морских вузов РФ в 2016 г. и была одобрена Агентством стратегических инициатив. Классификационные требования соответствуют Правилам РМРС.

Основное назначение судна – проведение научно-исследовательских работ в области гидробиологии, океанографии, гидрографии, подводно-технических изысканий с помощью мобильных лабораторий, выполненных в виде 4-х сменных 20-футовых комплексов «Океанография, гидробиология и гидрохимия», «Геоморфология и гидроакустика», «Водолазное оборудование», «Роботизированный исследовательский комплекс». Кроме того, СевГУ планирует проводить на НИС подготовку инженеров-кораблестроителей, инженеров-механиков и электромехаников, специалистов по системотехнике, по робототехнике и системам управления, судоводителей, штурманов, океанологов, гидрологов, археологов, биологов, геологов, экологов и др.

ОСНОВНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

Необходимая жесткость и прочность корпуса достигнута благодаря применению на АО «СНСЗ» трехслойного композита, из которого выполнены обшивка корпуса, надстройка, набор и палубы. Трехслойный композит состоит из склеенных вместе слоев ламината и среднего слоя заполнителя. Ламинат изготовлен из слоев углетканей CM-42011, CM-44008, CM-42009, ST-12043, ST-11077, производство которых освоено компанией «ЮМАТЕКС» госкорпорации «Росатом», со связующим на основе эпоксивинилэфирной смолы Derakane Momentum510C-350. Заполнитель – из вспененного листового поливинилхлорида (ПВХ) плотностью от 80 до 200 кг/м³ марки GURIT® CORECELL™ M. Количество, тип и ориентация слоев ткани в ламинате, а также толщина и плотность ПВХ заполнителя различны для разных частей корпуса и выбраны в соответствии с расчетными нагрузками. Килевая область корпусов выполнена

«ПИОНЕР-М» - ИННОВАЦИОННОЕ СУДНО ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

Ю.В. Баглюк, канд. техн. наук, доцент СПбГМТУ,
А.Д. Груверман, гл. конструктор АО «ОСК-Технологии»,
В.Р. Душко, канд. техн., зав. кафедрой СевГУ,
М.П. Евстигнеев, д-р физ.-мат. наук, проректор СевГУ,
В.Н. Пахомов, гл. конструктор АО «СНСЗ»,
 контакт. тел. +7 (978) 831 2572, +7(911) 270 6241, +7 (911) 214 7899



Рис. 1. НИС «Пионер-М» в Севастопольской бухте

Характеристики НИС «Пионер-М»

Длина габаритная с учетом кормового криволиния, м	27,5
Длина корпуса наибольшая, м.....	25,7
Ширина корпуса наибольшая, м	9,04
Высота борта на миделе, м.....	3,1
Осадка максимальная с винтами, м.....	Ок. 1,8
Водоизмещение по грузовой марке, т.....	145
Валовая вместимость, т.....	177
Скорость хода, уз:	
– максимальная при волнении моря до 3 баллов и глубине воды не менее 10 м	11
– эксплуатационная	8
Запасы дизельного топлива, м ³	6,0
Запасы пресной воды, м ³	3,2
Мореходность с высотой волны 3%-ной обеспеченности, м.....	3,5
Дальность плавания, мили.....	500
Автономность, сут.....	5
Район плавания	RS3
Удержание в точке с точностью, м.....	±8
Установка 2-х вальная с 3-лопастными ВФШ диаметром, м.....	0,94
Электрогидравлическое рулевое устройство – с углом поворота пера руля, град.	±35
Главный дизель-редукторный агрегат (ДРА), шт.	2
Главный дизель (ГД).....	DD6AC
Мощность, л.с.	2×335
Реверс-редуктор типа.....	DMT 140H
Мощность дизель-генератора (ДГ) M-SQ77, кВт.....	2×25
Гидравлические носовые подруливающие устройства (НПУ):	HMN-300-F-25 CV
– диаметр, мм.....	300
– мощность, кВт	2×20
– упор, кг.....	2×300
Класс автоматизации судна.....	AUT3-ICS
Экипаж судна, чел.	4
Специальный персонал (исследовательская группа)	12 чел.

монолитной, без наполнителя. Полки трехслойных балок продольного набора корпуса усилены слоями однонаправленной ткани. Набор приформовывается к оболочке корпуса «мокрым уголком», формируемым из нескольких слоев ткани. Корпус с надстройкой соединен при помощи отформованного внутреннего горизонтального фланца с последующей его проклейкой клеевым составом совместно с болтовым соединением и заформовкой стыка полосами ткани. Корпус судна и надстройка изготовлены методом вакуумной инфузии. При этом использованы для формирования обшивки корпуса и бортовых конструкций надстройки разборные матрицы, ранее созданные АО «СНСЗ» для пассажирского судна «Грифон».

Детали набора и палубы изготовлены методом вакуумной инфузии на формовочном столе с последующей ручной обработкой.

Вновь введенные требования РМРС «Конструкция и прочность судов из полимерных композиционных материалов» (см. ч. XVI) были впервые выполнены на НИС «Пионер-М». Проведенные расчеты общей и местной прочности обшивки корпуса позволили уточнить отечественные требования, которые на практике подтвердили свое соответствие аналогичным требованиям DNV. Особенность расчетов прочности обшивки корпуса состоит в том, что они выполнялись без учета

прочностных характеристик надстройки, которая принималась во внимание только как дополнительная нагрузка на корпус. Такое решение позволило считать корпус универсальным для любого типа надстройки в пределах ее веса, что можно рассматривать как типовую конструкцию корпуса для судов различного назначения (пассажирского, госпитального, спасательного, гидрографического и др.).

Поскольку рубка выполнена с круговым остеклением, для обеспечения требуемой прочности и снижения веса ее изготовили из алюминиевых профилированных листов и профилей. Получен первый опыт стыковки алюминиевой рубки с композитной главной палубой посредством металлического фланца на заранее приформованных к композиту болтах.

Проведение научных исследований (траление, буксировка и т.п.) НИС на «Пионер-М» может длиться до пяти часов на малых режимах со скоростью менее 5 уз и с упором не менее 7 кН. На этих режимах обороты главного двигателя (ГД) падают до значений, близких к оборотам холостого хода (< 900 об/мин.), что делает работу ГД неустойчивой. Для поддержания оборотов гребного вала, обеспечивающих этот режим, и выводу коленчатого вала двигателя на обороты для устойчивой работы ГД в редукторе установлен троллинговый клапан. Открытие этого клапана проис-

ходит за счет дополнительно введенной обратной связи по оборотам гребного вала (датчик оборотов гребного вала – корректирующий блок – троллинговый клапан – см. рис. 2) в штатную систему дистанционного управления ДАУ «Парус 1.3-11». В этом случае управление двигателем осуществляется по оборотам гребного вала, причем в режиме длительного троллинга эксплуатационная надежность и ресурс двигателя не ухудшаются.

Для снижения электровооруженности, энергосбережения, утилизации энергии на судне с учетом короткой протяженности трубопроводов применена централизованная система гидравлики высокого давления, работающая от навешанных на главные двигатели правого и левого бортов двух гидронасосов мощностью 18 кВт каждый и обеспечивающих режимы работы носового подруливающего устройства, якорно-швартовой лебедки и электрогидравлической рулевой машины.

Для питания сменных контейнеров – морских мобильных научно-исследовательских лабораторий (ММНИЛ) – «зеленой» электроэнергией на судне установлена фотоэлектрическая станция (рис. 3). Она содержит панели солнечных батарей, инвертор, литиевую аккумуляторную батарею (АКБ) и щит солнечных батарей (ЩСБ) с автоматами и датчиком тока (ДТ). Солнечные батареи расположены на крыше рубки

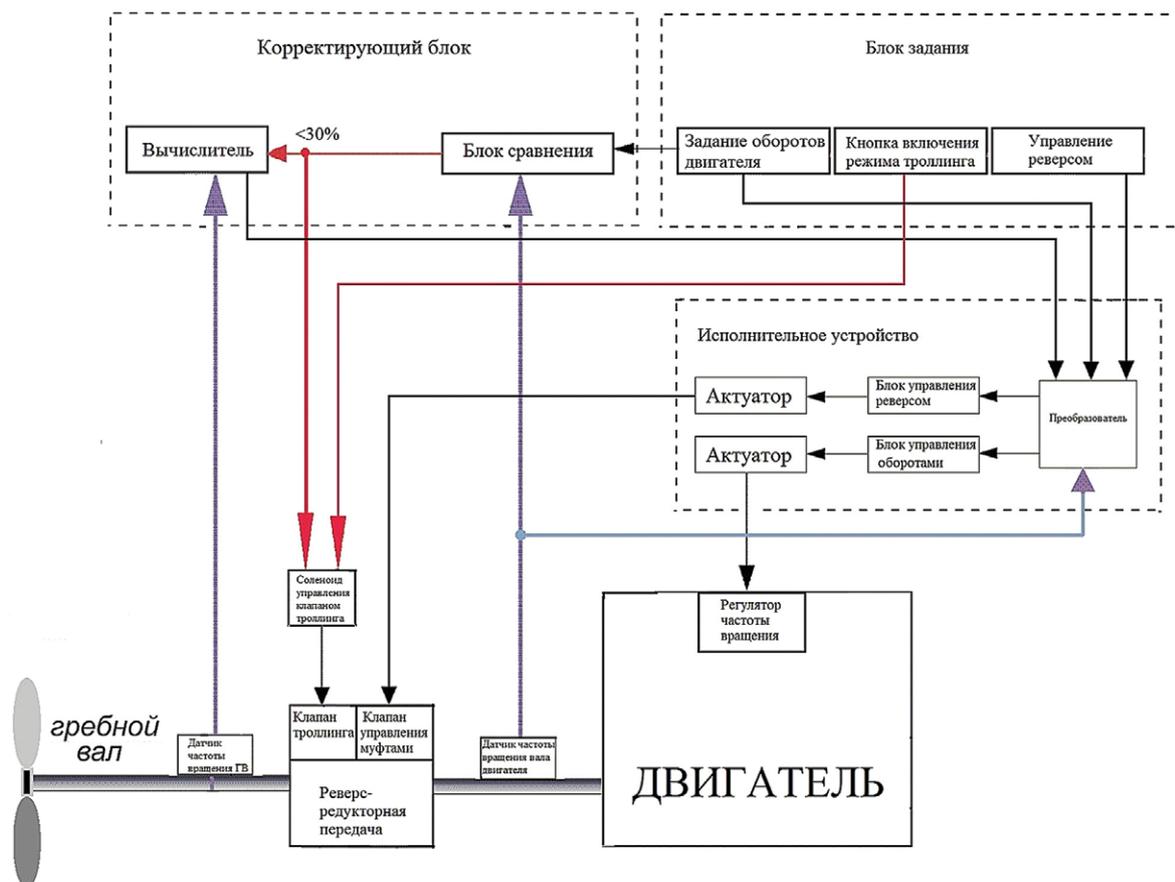


Рис. 2. Структура управления с режимом троллинга

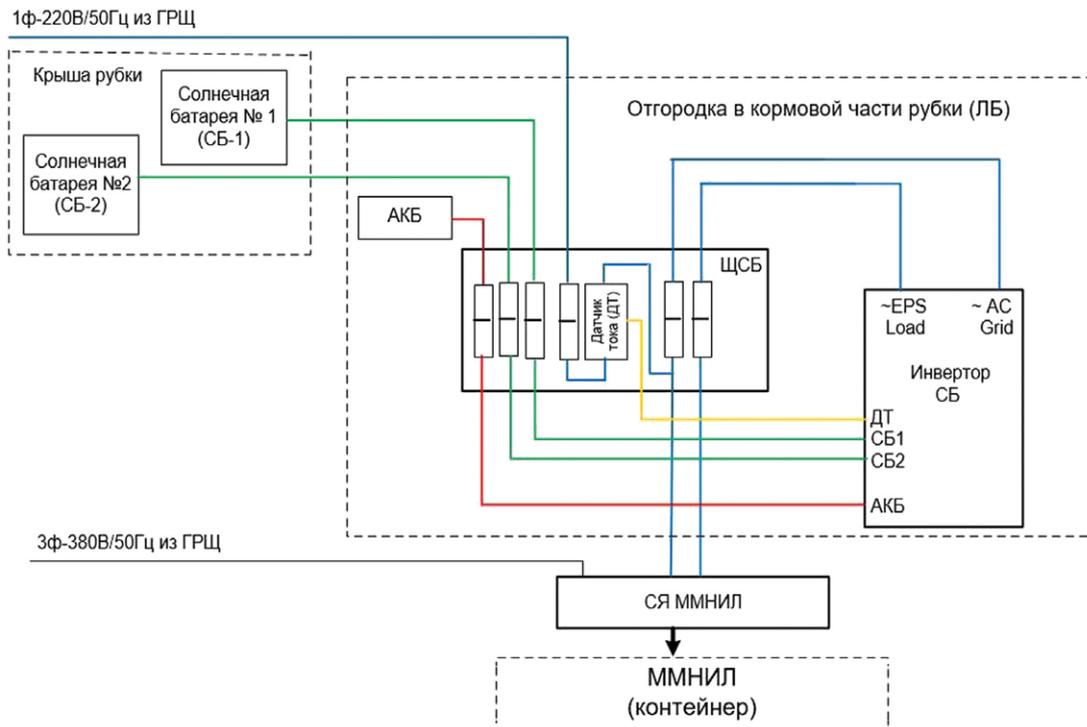


Рис. 3. Судовая фотоэлектрическая станция

и разбиты на две группы СБ-1 и СБ-2 по девять последовательно соединенных панелей в группе. Суммарная площадь панелей составляет около 21 м², что обеспечивает суммарную выходную мощность порядка 4 кВт. Инвертор в случае избытка генерации солнечных батарей направляет энергию на подзарядку АКБ. Если мощности, генерируемой солнечными панелями, недостаточно для питания научных приборов, то инвертор компенсирует этот недостаток путем их «подпитки» от судовой сети 220 В, 50 Гц.

НИС «Пионер-М» относится к классу высокоавтоматизированных судов. На нем предусмотрено дистанционное и автоматизированное управление одним судоводителем из рулевой рубки. Для обеспечения класса автоматизации AUT3-ICS на судне предусмотрен набор систем, интегрированных между собой (рис. 4):

- интегрированный навигационный комплекс (ИНК),
- система автоматизированного управления движением и маневрированием (САУДиМ),
- система контроля и управления техническими средствами (СКУ ТС).

Если в ИНК реализованы традиционные функции интеграции радара, картографии и коннинга, то в состав САУДиМ дополнительно введена система координированного управления (СКУ), которая выполняет как ручное (джойстиковое), так и автоматизированное управление оборотами главных двигателей, носового подруливающего устройства и положение пера рулевого

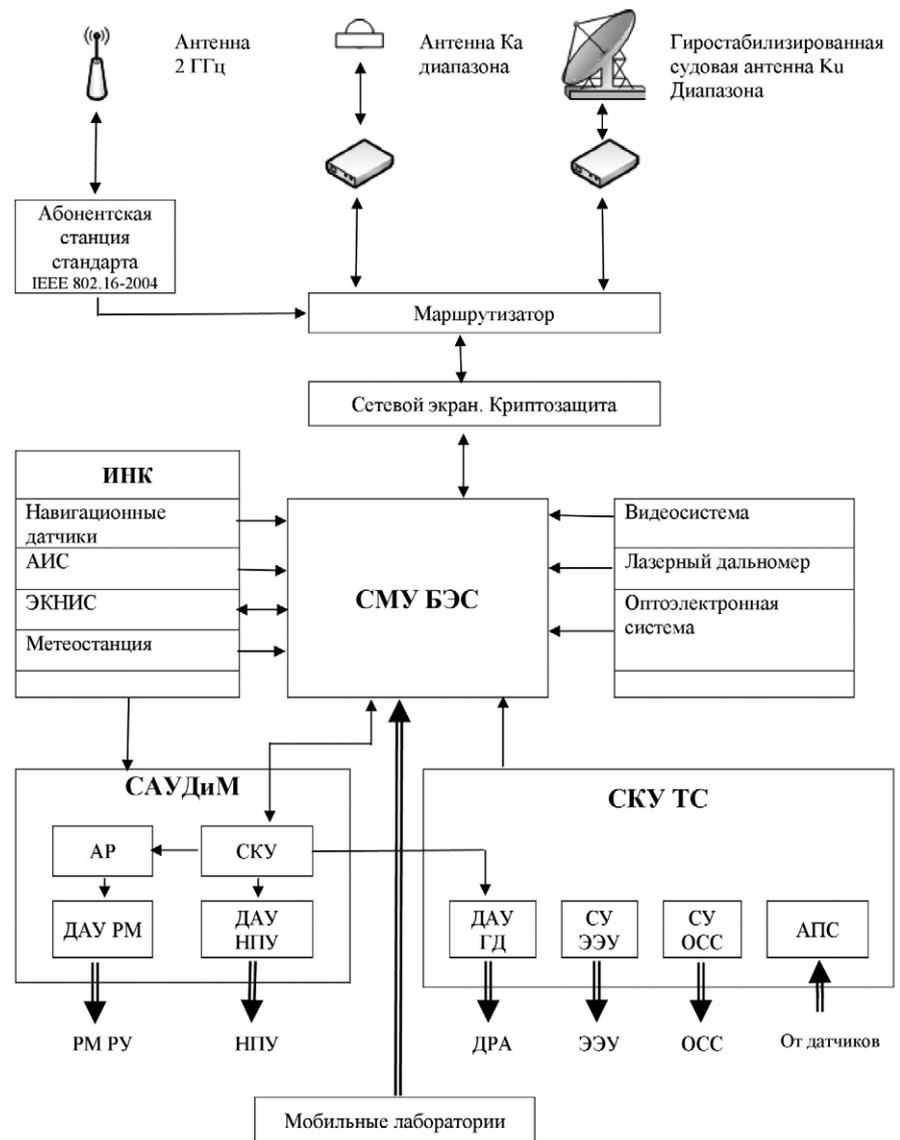


Рис. 4. Функциональная структура автоматизации



Рис. 5. Пульс судоводителя

устройства. В «джойстиковом» режиме судоводитель маневрирует судном за счет задания продольной, поперечной сил и момента вращения, при удержании курса – заданием продольной и боковой скорости движения судна. В автоматизированном режиме эти же задачи выполняет СКУ.

Кроме того, в СКУ реализованы упрощенные алгоритмы динамического позиционирования, достаточные для удержания судна с заданной точностью $\pm 8,0$ м. При этом опционально предусмотрено удержание с разворотом судна на ветер, что минимизирует энергозатраты при позиционировании.

При организации пульса судоводителя необходимо было выполнить несколько условий: традиционных – эргономических, для работы «сидя-стоя»; Регистра судоходства; удобства обслуживания и специальных для данного судна – один человек в рубке (как для класса ОМВО), обзор носовой главной палубы при проведении исследований, обучение студентов навыкам судовождения.

Пульс судоводителя судна (рис. 5) выполнен из пяти секций: левой и правой нижних секций (С1 и С2), левой и правой верхних секций (С3 и С4) и фронтальной верхней секции (С5), или табло коллективного пользования (ТКП).

Секция С1 предусматривает дистанционное раздельное управление ГД ЛБ, дизель-генераторами, видеосистемой, авторулевым (АР), управление и отображение ЭКНИС с функцией коннинга (на одном мониторе), управление оборудованием КСУ ТС и аварий-

но-предупредительная сигнализация (на втором мониторе).

Секция 2 обеспечивает дистанционное раздельное управление ГД ПрБ, НПУ ЛБ и ПрБ, троллинговыми клапанами ЛБ и ПрБ, управление и отображение радиолокатором (на одном мониторе), джойстиковое и автоматизированное управление на панелях СКУ, управление оборудованием общесудовых систем СКУ ТС (на втором мониторе).

На горизонтальных панелях секций С1 и С2 размещены органы управления и индикаторы навигационных датчиков (лага, спутникового компаса, приемника GPS/Glonass и др.).

Секция 3 содержит индикатор эхолота, основную УКВ-радиостанцию с ЦИВ, Навтекс-приемник, фонарь аварийного освещения.

Секция 4 содержит панели управление АИС и стеклоочистителями, резервную УКВ-радиостанцию с ЦИВ, фонарь аварийного освещения.

Секция 5 на левом мониторе отображает параметры коннинга, а на правом – видеоизображения с выбранных судоводителем внутренних и наружных видеокamer.

Кресло имеет продольные направляющие, что позволяет перемещаться на нем вдоль секций С1 и С2.

Наличие интегрированного навигационного комплекса и высокая степень автоматизации как технических средств, так и системы управления судном позволяют эффективно решать задачи по основному назначению в автоматизированном режиме с минимальной командой на борту, возможно и

безэкипажное судовождение (БЭС). В безэкипажном режиме, аппаратная реализация которого предусмотрена при последующей модернизации судна, системы автоматизации должны быть дополнены, как показано на рис. 4:

- каналами связи с береговым центром управления: основным широкополосным двусторонней спутниковой передачи данных Ku диапазона системы VSAT с пропускной способностью не менее 15–25 Мбит/с технологии SCPC (Single Channel per Carrier); резервным низкоскоростным двусторонней спутниковой связи Ka (или L) в системе INMARSAT; аварийным широкополосным двусторонним стандарта IEEE 802.16-2004 с ограниченным радиусом действия до 30–40 км для управления возвращением судна в место базирования;
- судовым модулем управления (СМУ БЭС), который в дистанционном режиме по командам от берегового центра управления транслирует задание СКУ для формирования этим блоком соответствующих управляющих воздействий в СА-УДиМ и СКУ ТС. Кроме того, по запросу или периодически СМУ передает на берег информацию о состоянии оборудования и первичные данные измерительных приборов мобильных лабораторий по результатам проведенных исследований. На судне подготовлены помещения, фундаменты, крепежные элементы и места для установок СМУ БЭС, антенн средств связи, а также проложены необходимые

информационно-управляющие и питающие кабели.

ПЛАНИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПОЛИГОНЕ

Планирование проводимого исследования, пример которого приведен на рис. 6, включает отход от причальной стенки места базирования Б с выходом в начальную точку маршрута Б1, формирование маршрута Б1-Х1 в первую точку зоны исследований, маршрута перехода из одной точки исследований в следующую, маршрута возврата ХN-Б2 в конечную точку маршрута, причаливание из конечной точки Б2 к причалу.

Исходные данные, необходимые для планирования, включают в себя:

- маневренные характеристики судна, включая величину эксплуатационной скорости хода;
- время перехода $T(Б1-Х1)$, включая время отхода в конечную точку Б1;
- суммарное количество точек исследования и время проведения исследований в каждой точке $T(Х1) + T(Х2) + \dots + T(ХN)$;

Примечание. План внутри зоны А определяется в зависимости от цели исследований. В отличие от точечных исследований для взятия проб грунта или образцов воды на разных глубинах, показанных на рис. 6, например, для поиска подводных объектов или съемки рельефа дна внутри всей зоны, могут быть применены методы расходящегося квадрата, параллельных галсов или движения по секторам.

- суммарное время перехода из точки в точку, включая выход на устойчивый режим позиционирования $T(Х1-Х2) + T(Х2-Х3) + \dots + T(Х5-ХN)$;
- время возврата в конечную точку маршрута Б2 места базирования $T(ХN-Б2)$, включая время швартовки из конечной точки к причалу;
- аварийный запас времени порядка 10%.

При этом следует учитывать существующие ограничения: автономность судна – пять суток, наличие запрещенных районов, навигационных опасностей и препятствий, исключительных границ территориальных вод, которые берут из геоинформационной базы данных электронных навигационных карт (ЭНК) ЭКНИС.

Разработанный план вводится путем нанесения точек маршрута или их географических координат на ЭНК непосредственно в ЭКНИС. Автопрокладчик ЭКНИС по этим точкам формирует кратчайший и безопасный маршрут движения с учетом показанных выше исходных данных и ограничений и индицирует его как заданный на фоне ЭНК выбранного района плавания.

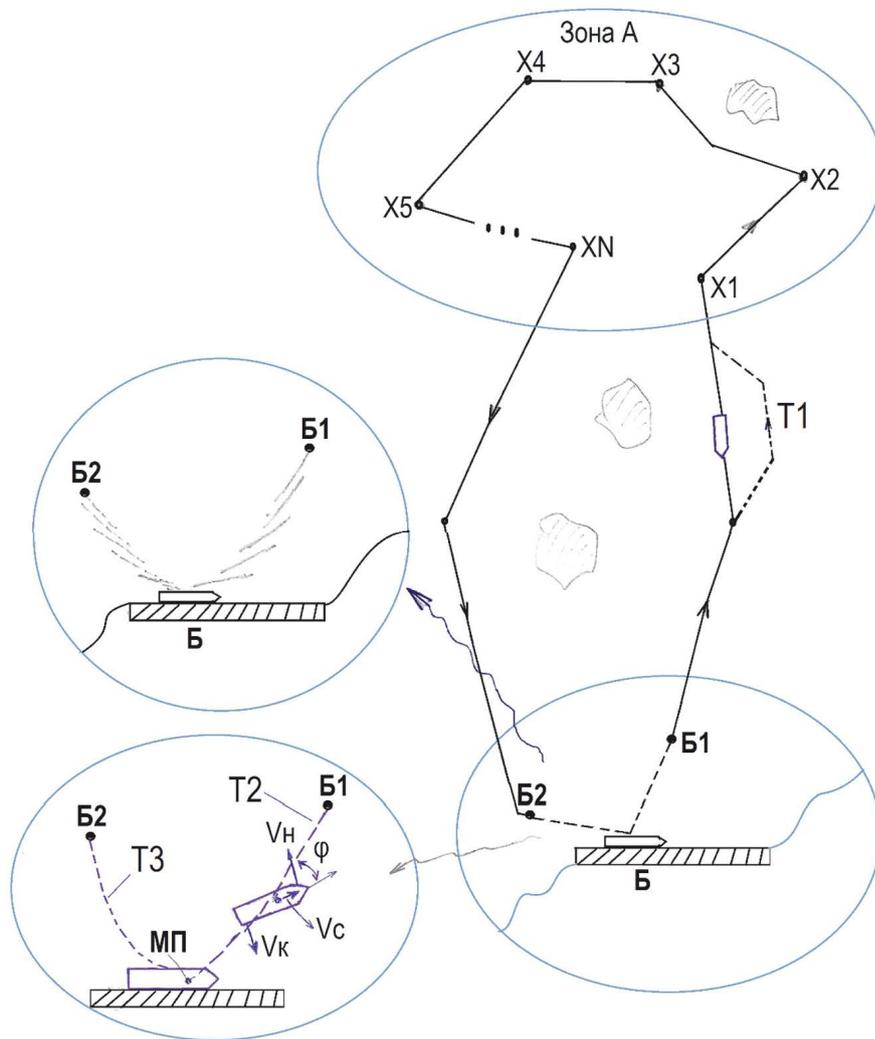


Рис. 6. Планирование проводимых исследований

ДВИЖЕНИЕ ПО МАРШРУТУ

Для реализации данной функции интегрированный навигационный комплекс судна:

- обеспечивает установившееся движение по траектории маршрута с заданной скоростью с учетом поворотов точек путем использования в режиме Track Control комплекта «ЭКНИС – САУДиМ», который инвариантен к ветро-волновым возмущениям и минимизирует количество переключений пера РУ;
- вычисляет дистанцию и время опасного сближения с другими судами и объектами;
- оценивает степень риска столкновений;
- определяет расхождение с судами, а также расхождение и обход препятствий и плавающих на морской поверхности предметов;
- корректирует траектории движения при необходимости (см. траекторию Т1 на рис. 5 при расхождении со встречным судном);
- выдает на СКУ команды на измененные траектории движения.

СКУ, в свою очередь, на основании полученных команд проводит математическое моделирование измененных параметров движения в комплексе «корпус судна – двигатель – движительная установка – САУДиМ – ДАУ ГД» и формирует управляющие сигналы на органы движения, тем самым обеспечивается переход на новую траекторию.

ОТХОД, ШВАРТОВКА И ПЛАВАНИЕ В ТЕСНЫХ РАЙОНАХ С МАЛОЙ СКОРОСТЬЮ

Для решения этих функций прежде всего необходимо знать следующие фактические значения параметров:

- положения борта носовой и кормовой частей судна относительно причальной стенки и стоящих у причала судов;
- текущие параметры движения собственного судна (угол курса ϕ , скорость хода V_c , угловая скорость носом V_n и кормой V_k , местоположение судна МП в месте установки спутниковой антенны), как показано на рис. 6;

– осадку судна носом и кормой, скорости и направления ветра, придонные течения.

При реализации этой функции выполняются прокладка и отображение траектории отхода Т2 и подхода Т3 к причалу (рис. 6); автоматическое удержание судна на заданной траектории; отображение положения судна относительно причала; отображение углов и линейных скоростей движения судна.

На основе математической модели движения судна система строит заданную траекторию, по которой должна перемещаться точка МП, определяющая положение судна на этой траектории. ЭКНИС через заданные промежутки времени контролирует текущее МП судна относительно точек МП, располагаемых на заданной траектории. При отклонении текущего положения от заданного ЭКНИС посылает команду в СКУ на изменение параметров движения, обеспечивающих возврат судна на заданную траекторию. Этот процесс продолжается до выхода по траектории Т2 на начальную точку маршрута Б1 или до подхода по траектории Т3 к заданному месту на расстоянии 3–5 м от причала, на котором можно завершить причаливание на необорудованной причальной стенке с помощью швартовых концов.

Здесь следует отметить, что основой ИНК составляет ЭКНИС «Wartsila Navi-Sailor 4000 MFD», реализующая некоторые из перечисленных задач. Однако с целью повышения эффективности и безопасности режимов БЭС следует рекомендовать провести апгрейд с применением отечественной бортовой системы «Pro-Mariner ЭКДИС 5000», разработанной компанией «Эволюция морских цифровых технологий». Данный программный продукт не только решает задачу импортозамещения и технической поддержки, но и обладает двумя существенными функциональными преимуществами. Прежде всего он обеспечивает высокую достоверность исходной информации об окружающих судах и объектах за

счет интеграции и селективного выбора данных от нескольких источников информации – радара, АИС, средств видео- и оптоэлектронного наблюдения. Наиболее существенным является уникальная возможность одновременного расхождения с несколькими объектами, в частности, до десяти на расстоянии до 3 миль. При этом в составе системы имеется интегрированный модуль сбора и предварительной обработки данных телеметрии по всем наблюдаемым и сопровождаемым объектам. Область применения данной версии ЭКДИС может быть существенно расширена за счет широко используемого принципа многофункционального дисплея, кроссплатформенной реализации и совместимости с операционной системой реального времени Astra Linus.

Впервые в новейшей истории России университет (в данном случае СевГУ) выступал в качестве полноценного заказчика услуги на проектирование и строительства судна (в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020 годы», ид. RFMEFI57817X0259). Сопровождение этого процесса потребовало внедрения новых организационных и образовательных моделей в университете. В частности, на базе Института национальной технологической инициативы СевГУ (САЕ НТИ) был создан «Проектный офис», в состав которого входили как специалисты-практики из отрасли судостроения, так преподаватели университета и студенты. Роль этого офиса заключалась в содержательном контроле всего процесса взаимодействия СевГУ с проектантом (например, в экспертизе всех технических документов, поступающих от проектанта). Организационно участие студентов в этой деятельности было реализовано путем перестройки традиционного учебного процесса в инженерной магистратуре в формат так называемой «продуктовой магистратуры» (<https://cyberleninka.ru/article/n/>

model-produktovoy-magistratury-dlya-podgotovki-inzhenera/viewer). Продуктовая магистратура базируется на двух ключевых идеях, являющихся исходным базисом для конструирования содержания любой образовательной программы, локализованной на базе САЕ НТИ, а именно:

- работа группы студентов в режиме единого «конструкторского бюро» над конкретным инженерно-техническим (научно-техническим) проектом в течение всего срока обучения в магистратуре как основное содержание образовательного процесса. Этот подход подразумевает, что содержание учебного плана «подстраивается» под нужды успешного выполнения проекта. Защита выпускной квалификационной работы осуществляется всей группой студентов с распределением персональной ответственности каждого обучающегося за отдельные элементы/подсистемы общего проекта;
- по завершении срока обучения в магистратуре полученный продукт оценивается независимым экспертным сообществом как имеющий все необходимые качества для выхода на рынок (в режиме стартапа, малого инновационного предприятия, комплекта конструкторской документации, согласованной надзорным органом, и т.п.).

Последовательная системная реализация этих идей в учебных планах продуктовых магистратур позволяет описать портрет выпускника, оценить его компетентность с помощью главного конструктора-менеджера – специалиста, способного реализовать все технические, организационные, управленческие и бизнес-аспекты создания законченного научно-технического продукта, готового к выводу на рынок.

Первые эксплуатационные рейсы НИС «Пионер-М» с проведением научных исследований запланированы на весну 2023 г. ■

Современное гражданское судостроение, находясь под влиянием глобального энергетического кризиса и все ужесточающихся экологических норм, ищет способы сокращения количества потребляемого топлива и снижения выбросов продуктов сгорания. В соответствии с документом ИМО «Указания по учету инновационных технологий в области энергетической эффективности для расчета и проверки полученных значений EEDI и EEXI» [1] эти способы подразделяются на категории, рассмотренные в таблице.

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА СУДНЕ ПРОЕКТА ВС90

С.Ю. Афанасьева, инженер-конструктор 3-й категории,
А.В. Сердечный, гл. конструктор, начальник проектного отдела,
С.М. Тимофеев, первый зам. ген. директора – гл. инженер,
И.В. Щербаков, ген. директор, ООО «ПКБ «Петробалт»,
О.Г. Власов, гл. конструктор АО «СПМБМ «Малахит»,
 контакт. тел. (812) 644 5686, + 7 (921) 902 7710

Иновационные технологии в области энергетической эффективности [1]

Таблица

Иновационные технологии в области энергетической эффективности				
Снижение мощности главного двигателя			Снижение вспомогательных мощностей	
Категория А	Категория В-1	Категория В-2	Категория С-1	Категория С-2
Неотделима от общих показателей судна	Может рассчитываться отдельно от общих показателей судна		Эффективна все время	Зависит от условий внешней среды
	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$	$f_{eff} = 1$	$f_{eff} < 1$
Покрывает с низким коэффициентом трения; прямая оптимизация; сопротивление пера руля; конструкция гребных винтов	Система воздушной смазки корпуса (создание воздушных камер посредством впуска воздуха для снижения сопротивления судна (может быть выключено)	Использование энергии ветра с помощью ветродвигательных систем (паруса, роторы Флеттнера, кайты)	Система рекуперации отходящего тепла (утилизация тепла выхлопных газов и его превращение в электрическую или тепловую энергию)	Фотоэлектрические элементы

Здесь f_{eff} – коэффициент доступности

Технологии категории А трудно назвать принципиально инновационными, так как стремление снизить сопротивление – неотъемлемый этап проектирования на протяжении значительной части мировой истории. Установка же системы рекуперации отходящего тепла (категория С-1) – распространенная практика на современных судах различного назначения.

Технологии категорий В-1, В-2 и С-2 также не являются принципиально инновационными, однако их развитие и активное применение на судах наблюдается все чаще.

1 ноября 2022 г. Российский морской регистр судоходства (РС) предпринял первые шаги в направлении внедрения ветродвигательных систем (WAPS)*, выпустив документ «Руководство по судовым установкам, использующим для движения энергию ветра» НД № 2–030101–050 [2]. Требования к судам, оборудованным WAPS, также приводят норвежское классификационное общество Det Norske Veritas (DNV) [3] и Классификационное общество США American Bureau of Shipping (ABS) [4].

В настоящей работе речь пойдет о целесообразности использования технологий категорий В на балкере неограниченного района плавания пр. ВС90, так как они требуют внесения в проект наименьшего количества изменений и сравнительно просты в использовании. Данная тематика особенно актуальна для России с учетом отсутствия значительных разработок ветродвигательных систем и устройств пневмообмыва грузовых судов.

В настоящее время ООО «ПКБ «Петробалт» и АО «СПМБМ «Малахит» ведут разработку проекта сухогруза неограниченного района плавания пр. ВС90. Проведен расчет эффективности при установке на судно роторов Флеттнера**, плоского жесткого паруса, а также оценен эффект от установки системы пневмообмыва корпуса.

*Ветродвигательная система (WAPS, Wind Assisted Propulsion System) – система, передающая механические пропульсивные силы, возникшие в результате ее взаимодействия с ветром, непосредственно на конструкции судна.

**Ротор Флеттнера (ротормый парус) – тип WAPS, которая обычно имеет вращающийся цилиндр/ ротор для создания тяги от силы ветра за счет эффекта Магнуса.

Основные характеристики рассматриваемого сухогруза

Длина наибольшая, м.....	250
Длина между перпендикулярами, м.....	246
Ширина наибольшая, м.....	34,0
Высота борта, м.....	20,5
Максимальная осадка, м.....	15,0
Дедвейт, т.....	Ок. 90 000
Мощность, кВт.....	Ок. 14 000
Скорость эксплуатационная, уз.....	12
Расход топлива, г/кВт·ч.....	225
Диаметр гребного винта, м.....	7,7

Предполагаемые маршруты судна проходят от Новороссийска или Санкт-Петербурга до Монтевидео (Уругвай), Камсара (Гвинея), Бендер-Аббаса (Иран), Нава-Шевы (Индия) и Шанхая (КНР).

РОТОРЫ ФЛЕТТНЕРА

Роторный парус представляет собой вертикально расположенный цилиндр, вращаемый вокруг своей оси. Благодаря эффекту Магнуса роторный парус создает тягу, направленную перпендикулярно направлению вымпельного ветра (рис. 1).

В среднем оптимальные условия работы роторных парусов создаются при движении судна под углом 100–130° и 230–260° к истинному ветру*.

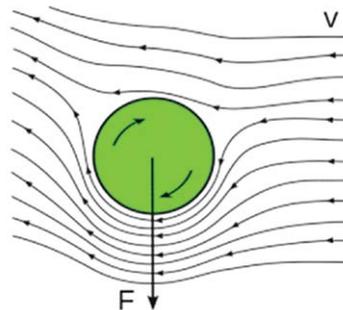


Рис. 1. Иллюстрация эффекта Магнуса [5]

***Истинный ветер – ветер, фиксируемый относительно неподвижного объекта.

Производство и установку роторных парусов осуществляют европейские компании Eco Flettner (Германия) [6], Norsepower (Финляндия) [7], Anemoi Marine (Великобритания) [8]. Размеры роторов могут варьироваться от 18×3 м до 35×5 м; масса – от ок. 20 до 63 т; масса основания – от 10 до 24 т.

Схема размещения. Исходя из анализа существующих проектов, оборудованных роторами Флеттнера и условия обеспечения видимости [9, 10], можно рассмотреть установку на сухогруз пяти роторов. По конструктивным условиям размещения определено, что их диаметр не должен превышать 4 м. Также необходимо, чтобы они не создавали помех тросам лебедок, расположенных между крышками грузовых трюмов, и оставляли проходы достаточной ширины для перемещения экипажа.

Расчеты показывают, что роторы большего размера более эффективны по сравнению с роторами меньших размеров, поэтому для судна пр. ВС90 оптимальными являются роторы размерами 28×4 м. Рассмотрена компоновка, при которой пять таких роторов размещены вдоль ДП, на переборках, разделяющих грузовые трюмы. Иные варианты размещения роторов создают недопустимые углы «слепых зон» [9, 10].

Вычисления в программном комплексе NAPA, проведенные в ПКБ «Петробалт», показали, что даже в наихудшем случае загрузки (судно порожнем) угол крена от действия ветра силой 540 Па на судно с установленными роторами составляет 1 град. Таким образом, остойчивость судна можно считать удовлетворительной при размещении роторных парусов любых размеров, вплоть до принятых.

Для упрощения грузовых операций могут применяться заваливающиеся роторы или роторы, способные смещаться по рельсам в плоскости шпангоута [7, 8].

3D-модель судна с установленными на него роторами сформирована с помощью ПО Cadmatic (рис. 2, а, б и в).

Программа Регистра Ллойда. На основе вычислений по общепринятым зависимостям в совокупности со статистическими и экспериментальными данными подразделением Регистра Ллойда Lloyd's Register Ship Performance Group создана онлайн-программа (рис. 3) для расчета экономии топлива судна при установке на него роторов Флеттнера [11].

Для этого в программу вводятся главные размерения судна, распределение затрачиваемой мощности по скорости, а также потребление топлива. Указываются размеры роторов и их количество, уточняются осадка и скорость судна. На карте обозначается маршрут движения судна.

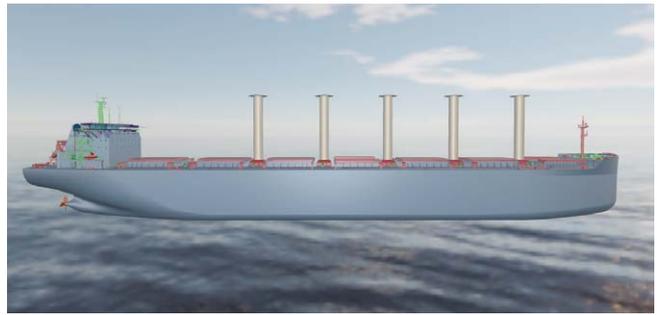
Экономия топлива для судна пр. ВС90, по данным программы, составила 11,2% в год из расчета среднего по основным мировым торговым путям [1]. На различных маршрутах, принятых вероятными для сухогруза, экономия составляла от 0,0% в год (Камсар–Санкт-Петербург) до 11,0% в год (Бендер-Аббас–Нава-Шева), в определенные месяцы на некоторых маршрутах достигая значений выше 15%.

Расчет экономии по указаниям ИМО. Документ МЕРС.1/Circ.896 [1] предлагает методику расчета доступной эффективной мощности WAPS, исходя из скорости судна, силы тяги системы, использующей энергию ветра, и глобального распределения вероятностей скорости и силы ветра. При этом принимаются несущественными и не учитываются сопутствующие эффекты использования WAPS, способные увеличить сопротивление судна: дрейф, увеличенные углы пера руля, крен, сниженная эффективность гребного винта. Предполагается также, что роторы эксплуатируются в ненарушенном потоке воздуха.

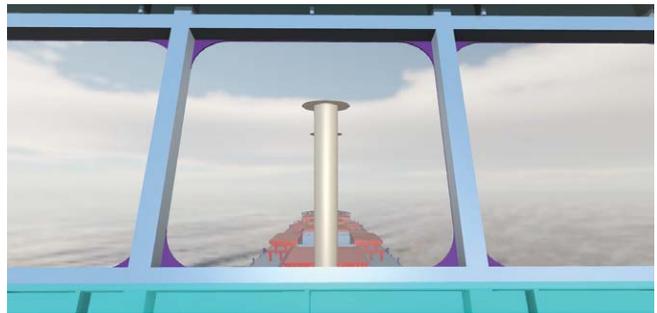
Доступная эффективная мощность ветродвигательной системы рассчитывается по формуле [1]

$$(f_{eff} \cdot P_{eff}) = \left(\frac{1}{\sum_{k=1}^q W_k} \right) \times \left[\left(\frac{v_{ref}}{\eta_D} \sum_{k=1}^q F(v_{ref})_k \cdot W_k \right) - \left(\sum_{k=1}^q P(v_{ref})_k \cdot W_k \right) \right]. \quad (1)$$

а)



б)



в)

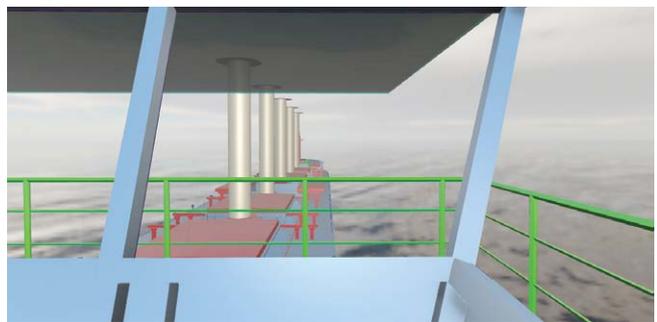


Рис. 2. Судно пр. ВС90 с роторами 28×4 м: а – вид сбоку, б – вид с ходового мостика вдоль ДП, в – вид с крыла ходового мостика

$F_1 - F_k \geq 0, F_{k-1} - F_k \geq 0$ (сортировка элементов матрицы сил по убыванию);

$\sum_{k=1}^{q-1} W_k < \frac{1}{2}, \sum_{k=1}^q W_k \geq \frac{1}{2}$ (q – количество элементов, введенных в формулу),

где $(f_{eff} \cdot P_{eff})$ – доступная эффективная мощность, кВт, производимая данной ветродвигательной системой*; W_k – глобальная матрица вероятностей ветров**; v_{ref} – средняя скорость судна, м/с; η_D – эффективность главного двигателя (главных двигателей) при 75% от установленной мощности. При отсутствии указаний на другие значения $\eta_D = 0,7$; $F(v_{ref})_k$ – матрица полезной тяги (кН) ветродвигательной системы в зависимости от скорости ветра и его направления относительно курса судна (0° – строго против ветра); $P(v_{ref})_k$ – матрица той же размерности, что W_k и $F(v_{ref})_k$, которая отражает мощность, кВт, затрачиваемую ветродвигательной системой в зависимости от скорости ветра и его направления относительно курса судна.

*Доступная эффективная мощность – результат умножения эффективной мощности P_{eff} и коэффициента доступности f_{eff} согласно указаниям документа МЕРС.231(65) «Руководство по использованию инновационных энергоэффективных технологий при расчете и освидетельствовании EEDI и EEXI» [1].

**Глобальная матрица вероятностей ветров – двумерная матрица, содержащая данные о вероятности определенных скорости ветра и его направления относительно курса судна на основании статистики по основным морским торговым путям. Сумма всех вероятностей равна 1 и является безразмерной величиной [1].

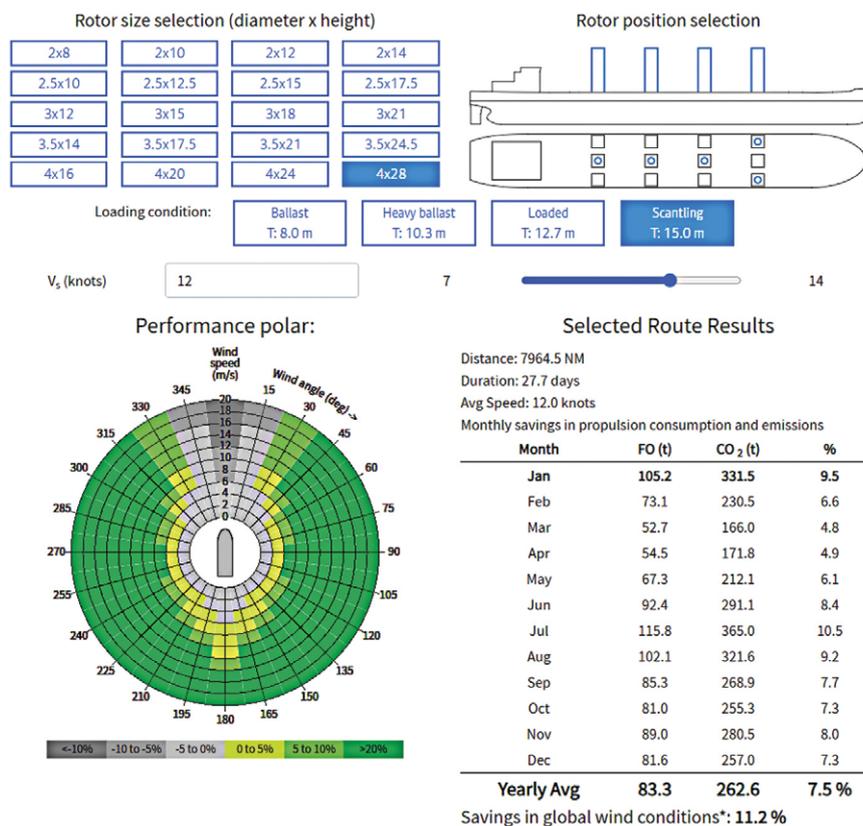


Рис. 3. Расчет программы Регистра Ллойда на маршруте Новороссийск – Монтевидео

По известным зависимостям вычислена тяга роторов и мощность, необходимая для их вращения [5]. Принято, что роторы функционируют тогда, когда мощность, сгенерированная ими, превышает мощность, затрачиваемую на их вращение. В противном случае роторы остановлены и создают дополнительное сопротивление воздуха, учтенное в расчетах.

В результате расчета по известным зависимостям и формуле (1) получаем для пяти роторов

$$f_{eff} P_{eff} = 766 \text{ кВт.}$$

Значение активной мощности для судна пр. ВС90 в ходовом режиме составляет 8411 кВт. Экономия мощности и топлива на всех основных судоходных путях, таким образом, в ходовом режиме равняется 9,1%.

Экономическая эффективность. Стоимость ротора размерами 28×4 м можно принять равной 1 млн. долл. США [5].

В качестве топлива рассматриваемое судно использует дизель, среднемировая стоимость которого по состоянию на январь 2023 г. составляет 1075 долл./т [12].

Принято, что сухогрузное судно находится в пути 2/3 всего времени. Мощность ротора судна пр. ВС90 в ходовом режиме составляет 8411 кВт; мощность при погрузке-разгрузке равна 889 кВт. Чистая годовая экономия при использовании пяти роторов составит таким образом 1 080 623 долл., или 8,65%, и обеспечит окупаемость роторов за 6 лет.

Следует, однако, помнить, что данный срок окупаемости рассчитан для условного судна, движущегося по всем основным судоходным путям. Исходя из оценки отношения количества топлива, сэкономленного на предполагаемых для проектируемого сухогруза маршрутах, к количеству топлива, сэкономленного на всех судоходных путях, можно оценить срок окупаемости роторов размерами 28×4 м – он будет близок к 12 годам.

ЖЕСТКИЙ ПАРУС

Жесткий парус представляет собой подъемную или телескопически раздвигающуюся крыльевую конструкцию. Система управления поднимает или раздвигает парус, а также поворачивает его вокруг вертикальной оси в зависимости от курса судна к ветру.

Жесткие паруса в грузовом судостроении подразделяются на три основных типа: сегментные (segment), серповидные (crescent) и паруса-крылья (wing), поперечные сечения которых изображены на рис. 4 [13].

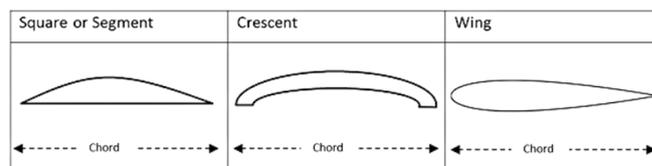


Рис. 4. Типы жестких парусов

Наиболее простым в изготовлении и в расчете является сегментный парус, который и будет рассмотрен далее. Методика расчета других двух типов парусов принципиально аналогична, но менее точна без соответствующих испытаний [13].

Wind Challenger. Сухогруз «Shofu Maru» ($L = 235 \text{ м}, B = 43 \text{ м}, DW = 100 422 \text{ т}$) первым в мире был оборудован жестким парусом Wind Challenger, который создан компаниями MOL [14] и Oshima Shipbuilding [15]. Он состоит из четырех секций, высота которых составляет ок. 15 м, ширина – ок. 20 м. Максимальная высота паруса – ок. 53 м. Сечение в горизонтальной плоскости серповидное.

Утверждается, что использование паруса на «Shofu Maru» снижает выбросы CO₂ на 5% на маршруте Япония – Австралия и на 8% – на маршруте Япония – западное побережье Северной Америки [14].

Размещение. Жесткий парус на сухогрузе может быть только один, так как он не должен создавать помех грузовым и швартовным операциям, и может быть размещен в носу судна. Оптимальное место его расположения – шп. 257 (рис. 5). Диаметр основания паруса принят равным 3,0 м, а возвышение над палубой бака – 2,5 м.

Принятые размеры паруса: ширина – 20 м, высота – 53 м, толщина – 3 м, соотношение длин задней и передней поверхностей паруса – 1,06. Эти значения близки к параметрам паруса Wind Challenger и, следовательно, технически выполнимы. Кроме того, размерения Shofu Maru и ВС90 близки между со-

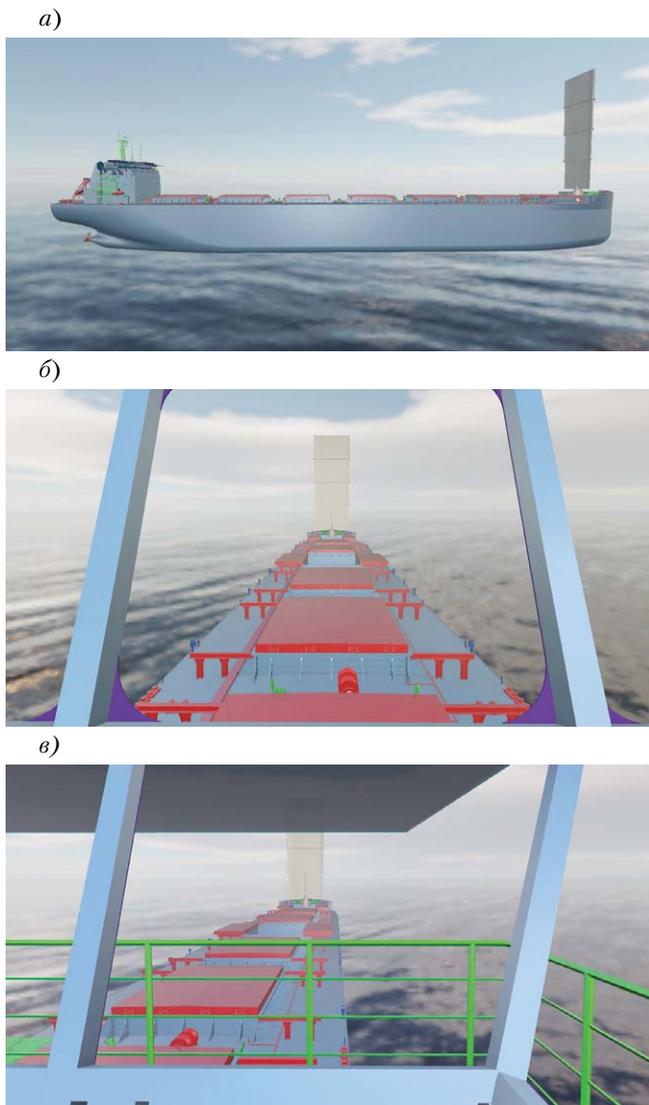


Рис. 5. Судно пр. ВС90 с плоским парусом в раздвинутом состоянии: а – вид сбоку, б – вид с ходового мостика вдоль ДП, в – вид с крыла ходового мостика

бой, и можно ожидать, что и характеристики влияния на них парусов схожих размеров будут близкими.

3D-модель судна с установленным на нем плоским парусом сформирована с помощью ПО Cadmatic (рис. 5, а, б и в).

Расчет экономии при установке жесткого паруса. Общий расчет экономии определяется по формуле (1).

По известным формулам тяги плоского паруса и создаваемой им боковой силы выполнен расчет дополнительной мощности, генерируемой парусом. При этом принимается, что парус не функционирует при угле к выпелному ветру менее 30° [13]. Вторым фактором, ограничивающим использование паруса, является создаваемый им крутящий момент, который необходимо компенсировать с помощью рулевого устройства. Расчетный момент на руле составляет ок. 1380 кН·м на переднем ходу. Приняв запас 20%, можно оценить максимальный допустимый момент паруса в 1100 кН·м.

Мощность, затрачиваемая парусом для поворота и сдвигания-раздвигания, принимается пренебрежимо малой и не учитывается.

В результате расчета для плоского паруса размерами 20×53 м

$$f_{eff} \cdot P_{eff} = 449 \text{ кВт.}$$

Активная мощность всех потребителей в ходовом режиме при мощности 14 000 кВт составляет 15 635 кВт. При мощности 6776 кВт, необходимой для движения с эксплуатационной скоростью, значение активной мощности равно 8411 кВт.

Экономия мощности и топлива на всех основных судоходных путях, таким образом, равняется 5,34% в ходовом режиме.

Экономическая эффективность. В качестве топлива судно пр. ВС90 использует дизель, среднемировая стоимость которого по состоянию на январь 2023 г. составляет 1075 долл./т [20].

Принято, что сухогрузное судно находится в пути 2/3 всего времени. Мощность рассматриваемого сухогруза в ходовом режиме составляет 8411 кВт; мощность при погрузке-разгрузке равна 889 кВт. Чистая годовая экономия при использовании жесткого паруса составит таким образом 633 175 долл., или 5,07%.

Следует помнить, что полученная экономия рассчитана для условного судна, движущегося по всем основным судоходным путям. С учетом ветровых условий на предполагаемых для судна пр. ВС90 маршрутах, можно оценить, что реальная экономия будет порядка 2–2,5%.

Стоимость паруса Wind Challenger, установленного на сухогрузе «Shofu Maru», не афишируется производителями. Выгоду или убыток от установки паруса на судно можно, таким образом, установить только после оценки стоимости его постройки.

ПНЕВМООБМЫВ

Пневмообмыв (воздушная смазка) – способ уменьшения сопротивления трения корпуса о воду (лед) с помощью подачи сжатого воздуха, который образует прослойку воздуха или пузырьков между корпусом судна и водой (льдом). На современных грузовых судах могут устанавливаться устройства пневмообмыва (ПОУ) для уменьшения сопротивления трения и, следовательно, экономии топлива и снижения вредных выбросов.

Принципиальная схема. ПОУ состоит из устройств выпуска воздуха; трубопроводов, по которым к ним подводится воздух; компрессора, обеспечивающего выпуск воздуха с необходимой скоростью. Кроме того, предусматриваются система ручного управления с ходового мостика и система автоматизации (рис. 6 и рис. 7).

Оценка экономии. Производители ПОУ для транспортных судов Silverstream Technologies [17], Wärtsilä [16] и Howden [18] оценивают чистую экономию топлива при ис-

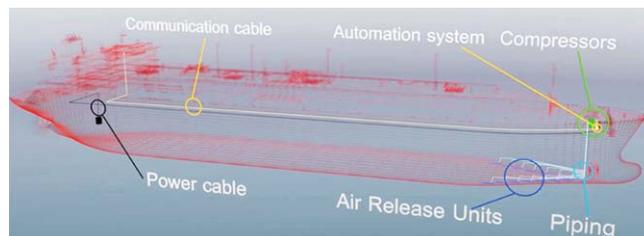


Рис. 6. Принципиальная схема ПОУ [16]



Рис. 7. Устройства выпуска воздуха на днище судна [17]

пользовании воздушной смазки в 6–11% для крупных балкеров ($DWT > 100$ тыс. т), 7–10% и до 10% соответственно. Эти данные практически идентичны, поэтому их можно принимать как основу для предварительных выводов.

Для получения более точных данных экономии топлива для конкретного судна необходимо моделирование, проведение экспериментов по выявлению оптимального расположения устройств выпуска воздуха и, при возможности и необходимости, корректирование формы днища.

ВЫВОДЫ

Расчеты и соображения, приведенные в данной работе, показали, что установка на судне пр. ВС90 ветродвигательных систем в виде плоского жесткого паруса или роторных парусов может быть целесообразна, особенно на маршрутах с ровными ветрами стабильного направления.

С учетом того, что большая часть предполагаемых маршрутов не проходит по оптимальным для использования парусов зонам, можно ожидать экономию в размере 4–5% при использовании пяти роторных парусов размерами 28×4 м и 2–3% при использовании жесткого складного паруса размерами 20×53 м.

Следует также учитывать принятое в расчетах допущение, что роторы либо все работают на полную мощность, либо все остановлены, жесткий парус же либо раздвинут с максимальной площадью, либо сложен и не создает сопротивления воздуха. В действительности между указанными состояниями существует множество промежуточных, включение которых в расчет даст более точное представление об экономии мощности. Для этого необходимы модельные испытания, подробное изучение параметров работы существующих WAPS с роторными парусами, а также, вероятно, специальное программное обеспечение. Также следует дополнительно исследовать возможности оптимизации маршрута следования судна с учетом получения актуальной погодной информации.

Системы пневмообмыва корпуса, исходя из заявлений производителей, являются эффективным средством, позволяя экономить до 10% топлива. В случае с рассматриваемым судном можно принять размер экономии по нижней границе, предложенной Silverstream Technologies [17], равный 6%, что более существенно, чем при установке роторных парусов или жесткого паруса. Преимущество системы пневмообмыва – в том, что она может применяться независимо от ветровых условий.

С учетом слабой развитости технологий повышения энергоэффективности в России и отсутствия реализованных проектов, где они были бы внедрены, необходимо продолжать исследования в данном направлении. Для этого следует проводить модельные эксперименты и расширять производственные мощности, ориентируясь на возможность производства комплектующих систем повышения энергоэффективности.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ

1. МЕРС.1/Circ.896–2021 Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI and EEXI/International Maritime Organization (IMO), London, UK, 14.12.2021.
2. НД № 2–030101–050. Руководство по судовым установкам, использующим для движения энергию ветра/Российский морской регистр судоходства, Санкт-Петербург, Россия, 1.11.2022.
3. DNVGL-ST-0511. Wind assisted propulsion systems/Det Norske Veritas, 2019.

4. Guide to Wind-Assisted Propulsion System Installation/American Bureau of Shipping (ABS), 2020.
5. Berendschot R.J. Flettner rotor vessel design optimization: дисс. на соискание квалификационной академической степени магистра, Дельфт, Нидерланды, 2019.
6. Компания Eco Flettner: официальный сайт. – URL: <https://ecoflettner.de/> (дата обращения: 23.01.2023).
7. Компания Norsepower: официальный сайт. – URL: <https://www.norsepower.com/> (дата обращения: 23.01.2023).
8. Компания Anemoi Marine: официальный сайт. – URL: <https://anemoimarine.com/> (дата обращения: 23.01.2023).
9. MSC/Circ.982–2000 Guidelines on ergonomic criteria for bridge equipment and layout/IMO, London, UK, 20.12.2000.
10. НД № 2–020101–171. Правила по оборудованию морских судов. – Ч. V: навигационное оборудование/Российский морской регистр судоходства, Санкт-Петербург, Россия, 1.03.2023.
11. Калькулятор экономии для судна с роторами Флеттнера. – URL: <https://flettner.lr.org/> (дата обращения: 23.01.2023).
12. Актуальная стоимость судового топлива на сайте PBT International NV. – URL: <https://pbt-international.com/price-information/> (дата обращения: 25.01.2023).
13. Atkinson G.M., Binns J. Power profile for segment rigid sail//Journal of Marine Engineering & Technology. – 2018. – Vol.17:2. – P.99–105, DOI: 10.1080/20464177.2017.1319997.
14. Компания MOL: официальный сайт, страница о жестком парусе. – URL: <https://www.mol-service.com/case/windchallenger02?hsLang=en> (дата обращения: 27.01.2023).
15. Компания Oshima Shipyards: официальный сайт. – URL: <https://en.osy.co.jp/> (дата обращения: 27.01.2023).
16. Компания Wartsilä: официальный сайт, страница о пневмообмыве. – URL: <https://www.wartsila.com/marine/products/propulsors-and-gears/energy-saving-technology/air-lubrication-system> (дата обращения: 02.02.2023).
17. Компания Silverstream Technologies: официальный сайт, страница о пневмообмыве. – URL: <https://www.silverstream-tech.com/what-is-air-lubrication/> (дата обращения: 02.02.2023).
18. Компания Howden: официальный сайт, страница о пневмообмыве. – URL: <https://www.howden.com/en-gb/applications/hv-turbo-air-lubrication> (дата обращения: 02.02.2023).
19. МАРПОЛ, Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененной протоколом 1978 г./International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, MARPOL 73/78).
20. НД № 2–020101–134. Правила по предотвращению загрязнения с судов, эксплуатирующихся в морских районах и на внутренних водных путях РФ (ПЗС РФ)/Российский морской регистр судоходства (РС), Санкт-Петербург, Россия, 2020.
21. Badalamenti C., Prince S. Effects of Endplates on a Rotating Cylinder in Crossflow. – In: 26th AIAA Applied Aerodynamics Conference, Honolulu, Hawaii, 2008. American Institute of Aeronautics and Astronautics.
22. De Marco A., Mancini S., Pensa C., Calise G. and De Luca F. Flettner Rotor Concept for Marine Applications: A Systematic Study//International Journal of Rotating Machinery, 2016.
23. Reid E. G. Tests of Rotating Cylinders Report NACATN209, National Advisory Committee for Aeronautics, 1924.
24. Performance analysis of Flettner rotor installations: дисс. на соискание квалификационной академической степени магистра/Finn Logange. – Тронхейм, Норвегия, 2022.
25. Fujiwara T., Hirata K., Ueno M., Nimura T. On development of high performance sails for an ocean going sailing ship. – In: International Conference on Marine Simulation and Ship Manoeuvrability (MARSIM'03). – Kanazawa: National Maritime Research Institute (Japan), 2003.
26. Atkinson G.M., Nguyen H., Binns J. Considerations regarding the use of rigid sails on modern powered ships//Cogent Engineering. – 2018. – 5:1543564.
27. Martínez Antonio Gallardo. Investigation of the air-lubrication effect on friction resistance: диссертация на соискание квалификационной академической степени магистра. – Картахена, Испания, 2016. ■

Важнейшим фактором в решении задач, связанных с освоением морских месторождений нефти и газа, является бесперебойное электроснабжение нефтегазопромысловых сооружений, с которых осуществляется бурение эксплуатационных и разведочных скважин, добыча, сбор, хранение и транспортировка нефти и газа.

Этапы развития технических решений по электроснабжению морских нефтегазопромыслов находятся в полной зависимости от гидрометеорологических условий районов освоения и их удаления от береговых баз.

В настоящее время электроснабжение морских нефтегазопромыслов осуществляется с помощью воздушных линий электропередач (ЛЭП), подводных кабельных ЛЭП, дизельных электростанций. Воздушные ЛЭП, для подвески которых требуется установка опор специальной конструкции, как правило, применяют на малых глубинах моря. Они создают большие трудности для судоводителей, затрудняют маневрирование судов и без того в стесненных акваториях морских нефтегазопромыслов. Прохождение ЛЭП в специально оставленных воротах при сильном ветре может привести к навалу судна на их опоры и создать аварийную ситуацию.

При освоении отдаленных морских нефтегазовых месторождений одним из перспективных направлений является электроснабжение этих месторождений с помощью подводных кабельных линий, что позволяет отказаться от дизельного привода в бурении и мелких дизельных электростанций, устанавливаемых на МСП.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИИ УКЛАДКИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Общие требования к укладке подводных кабельных линий сводятся к следующему. Началу работ по прокладке кабельных линий должно предшествовать тщательное изыскание будущей трассы, при котором определяются профиль дна, глубина моря, плотность и состав донного грунта. На сложных участках трассы проводятся видеозапись и фотосъемка ландшафта и рельефа дна. Последние необходимо не только указать, но и охарактеризовать количественно. На выбор трассы укладки могут оказать сильное влияние наличие скал, крупных валунов на поверхности дна или в толще осадочных пород. Без знания свойств этих пород – прочностных характеристик, усилий резания, способности разрушаться при внешнем воздействии – невозможно правильно выбрать технику и технологию прокладки, а также гарантировать сохранность кабельной линии в процессе эксплуатации.

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАБЕЛЕУКЛАДОЧНЫХ РАБОТ ЧАСТЬ 1

*Р.Н. Караев, канд. техн. наук, почетный доктор СПбГМТУ,
контакт. тел. +7 (994) 50 210 9269*

Необходимо также иметь данные о гидрометеорологической обстановке на всем протяжении укладки кабеля: скорость течения и его направление; высоту волн; балльность ветра и т. п.

Проведению изыскательских работ, связанных со снятием профилей морского дна, измерением скорости течения и т. п., придается важное значение, так как последние определяют выбор конструкции подводного кабеля, долговечность соединительных муфт и ремонтпригодность (возможность быстрой замены поврежденного участка кабельной линии).

Работа по укладке кабеля должна проводиться без перерыва, чтобы обеспечить прокладку всей строительной длины кабеля, либо уложенного в тенк (специальный отсек цилиндрической формы), либо намотанного на барабан. В противном случае при ухудшении погодных условий возникает необходимость резания кабеля и, как следствие, установки дополнительной муфты.

Для обеспечения безопасных условий эксплуатации и обслуживания кабельных линий расстояние между трассой прокладываемого кабеля и ранее уложенными трубопроводами или другими металлически армированными кабелями должно составлять не менее 500 м.

Одним из основных условий при укладке кабельной линии является также выбор оптимального усилия натяжения кабеля с целью исключения образования петель на морском дне. Натяжение прокладываемого кабеля регулируется тяговым устройством путем изменения скорости и угла входа кабеля в воду.

Процесс укладки подводного кабеля начинается с вывода кабелеукладочного плавсредства на трассу укладки. В случае использования несамостоятельного кабелеукладочного плавсредства эффективность кабелеукладочных работ зависит от тактико-эксплуатационных характеристики судов, осуществляющих буксировку баржи. При этом удержание баржи на курсе укладки – одно из важных технологических требований. Поэтому необходимо учитывать влияние качки, следить за натяжением буксирного каната. В силу этого для достижения гарантированной производительности при прокладке кабеля на глубокой воде бук-

сирующее судно должно иметь: высокую маневренность, повышенную мощность и современные средства радионавигации и связи.

В процессе укладки запрещается перемещение кабелеукладочного плавсредства в направлении противоположном курсу прокладки, так как в этом случае на участке, где уже проложен кабель, могут возникнуть петли, которые впоследствии, в процессе эксплуатации, под воздействием внешних факторов, могут привести к повреждению кабельной линии.

Основной объем подводно-технических работ, проводимых водолазами в процессе укладки подводной силовой кабельной линии, включает в себя:

- крепление стояка, оборудованного раструбом, к одной из стоек платформы с помощью двухсекционного хомута (рис. 1, а);
- проверку свободного прохода тяговой головки через раструб стояка;
- заводку и протягивание тягового проводника через стояк с выводами концов на платформу и баржу;
- установку чулка-стопора для фиксации кабеля к стойке блока, в месте касания дна и входа кабеля в раструб (рис. 1, б).

В районах укладки кабеля, где отсутствует риск его повреждения орудиями лова рыбы (тралом и т. п.), кабель просто опускают на дно моря. При этом необходимо следить за тем, чтобы укладка точно соответствовала выбранной трассе, а на кабеле не было излишних петель, слабину и натяжения. В местах, где возможно повреждение кабеля, последний погружают в грунт, при этом величина заглубления зависит от глубины моря, навигационной и ледовой обстановки.

Обычно заглубление составляет примерно 60 см, однако проводить эту операцию следует только в том случае, когда грунт в районе прокладки достаточно стабилен. При наличии наносов и размывания грунта заглубление бесполезно. В таких случаях кабель наиболее безопасно укладывать в створе с трубопроводами, где рыбный промысел, как правило, не ведется. Это прежде всего обусловлено тем, что зацепить и поднять одиночный кабель тралом значительно проще.

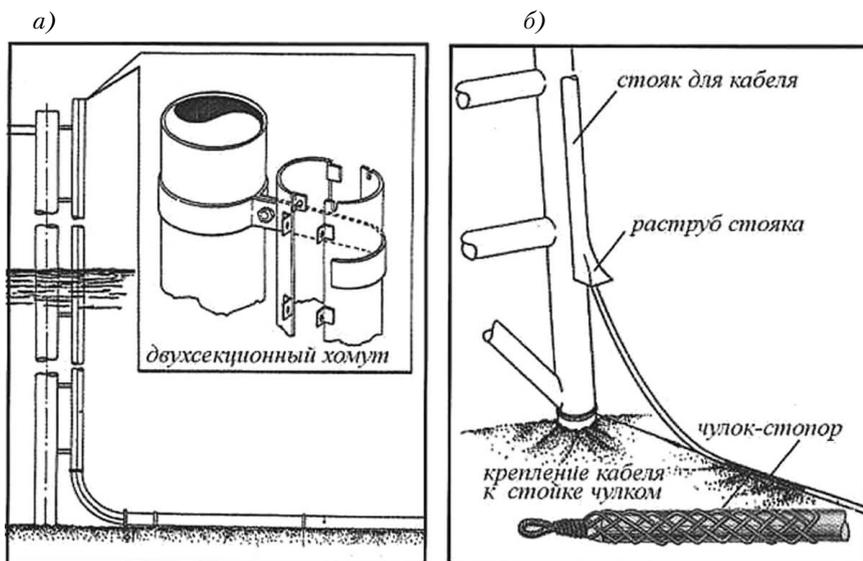


Рис. 1. Монтаж подводного кабеля у опорного блока

Наряду с заглублением кабеля в траншеи для защиты от трала, судовых якорей и землечерпательных снарядов в морской зарубежной практике используют защитные устройства в виде кожухов, устанавливаемых непосредственно на подводный кабель, прокладываемый в условиях сложного рельефа морского дна.

Одно из таких устройств [62] представляет собой кожух, состоящий из отдельных гофрированных секций в виде полуцилиндров соответствующего размера, устанавливаемых на кабеле во время его спуска с кабелеукладчика под воду и соединяемых между собой специальными гофрированными муфтами с болтовыми соединениями. В результате на кабеле образуется сплошной гибкий кожух, способный принимать форму, соответствующую местным условиям рельефа морского дна.

ПЛАВУЧИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ УКЛАДКИ ВНУТРИПРОМЫСЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Прокладка и ремонт морских подводных кабельных линий осуществляются с помощью специальных кабелеукладочных плавсредств. Технологический процесс прокладки подводных кабельных линий принципиально не отличается от укладки трубопровода «методом сматывания с барабана».

При этом следует отметить, что наряду с «барабанным» способом хранения широко применяется способ хранения и транспортировки кабеля в бухтах на палубе или под палубой в специальных тенксах. Тенкс – отсек цилиндрической формы, представляет собой часть корпусной конструкции судна, оборудованный внутренними и наружными направляющими. Вокруг внутренних направляющих кабель в тенксе укла-

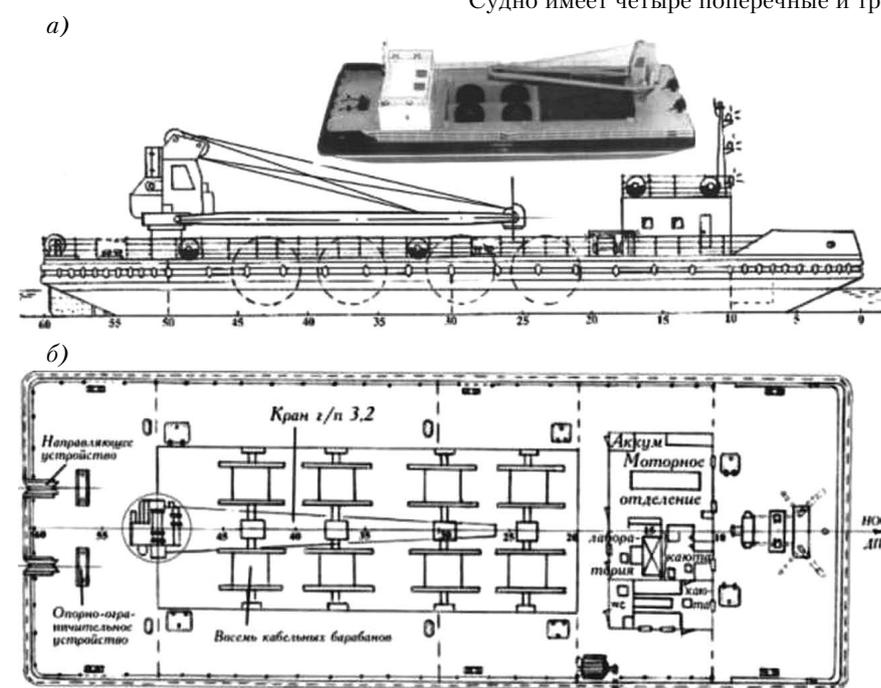


Рис. 2. Кабелеукладочная баржа (пр. 5866) для прокладки и ремонта внутрипромысловых электрических кабелей: а – боковой вид; б – вид палубы

дывается по окружности. Наружные направляющие ограничивают максимальный диаметр бухты. Кроме того, с целью проверки состояния годности кабеля для прокладки в ряде случаев тенксы оборудуют системой заполнения водой и осушения, а также стационарными и переносными датчиками температуры.

В НИПИ «Гипроморнефтегаз» были разработаны различные типы кабелеукладочных плавсредств, которые рассмотрены ниже [2].

В частности, для прокладки внутрипромысловых кабельных линий на Каспии на глубинах до 20 м используют кабелеукладочные киржимы, которые, как было отмечено выше, являются морально и физически устаревшими плавсредствами. В качестве альтернативного ре-

шения в НИПИ «Гипромор нефтегаз» разработаны две модификации кабелеукладочной баржи, предусматривающие укладку кабелей путем сматывания с барабана и с бухты.

Кабелеукладочная баржа (пр. 5866) предназначена для транспортировки, укладки, подъема со дна моря и ремонта подводных электрических кабелей на глубинах до 40 м (рис. 2).

Баржа спроектирована на класс Регистра К® II, с удалением от места убежища до 50 миль при силе ветра не более 6 баллов [2].

Несамоходный кабелеукладчик представляет собой сварную металлическую баржу с вертикальными бортами, плоским дном и подрезами в носовой и кормовой оконечностях и имеет следующие габариты: длина – 35,5 м, ширина – 13,5 м, высота борта – 2,5 м. Судно имеет четыре поперечные и три

продольные водонепроницаемые переборки, доходящие до палубы, которые делят корпус баржи на десять водонепроницаемых отсеков: форпик, в котором размещаются шкиперские и цепные ящики; два кабельных колодца; шесть сухих отсеков, в которых установлены насосы осушения, сварочные агрегаты и механизмы приводов кабельных барабанов и ахтерпик.

На палубе, в носовой части кабелеукладочной баржи, расположена рубка, в которой размещены: аккумуляторная, моторное отделение, помещение электроизмерений, двухместная жилая каюта, каюта для отдыха рабочей бригады.

Кабелеукладчик оборудован всеми необходимыми системами, обеспечи-

Вместимость кабельного барабана в зависимости от марки кабеля

Марка кабеля	Сечение кабеля, мм ²	Диаметр кабеля, мм	Масса кабеля, кг	Количество кабеля на 1 барабане		Количество кабеля на 8 барабанах	
				КМ	т	КМ	т
ПК-6	3×70	55	6300	2,478	15,611	19,82	124,8
ПК-6	3×95	65	7600	1,768	13,573	14,28	108,5
ПК-6	3×120	75	8800	1,412	12,425	11,29	99,4
ПЭПК-35	1×70	54,45	6108	2,478	15,135	19,82	121,0
ПЭПК-35	1×95	56,2	6623	2,386	15,802	19,0	126,4

вающими судну, с учетом специфики его эксплуатации, безопасность в работе и улучшенные условия обитаемости и работы экипажа.

Для проведения полного цикла работ по укладке и ремонту подводного кабеля предусмотрена монтажная технологическая линия, включающая кабельные барабаны, опорно-ограничительные устройства, направляющие шкивы и полноповоротный судовой электрический кран.

Кабельные барабаны в количестве 8 шт. предназначены для хранения, транспортировки, укладки и подъема подводных кабелей. Диаметр шейки барабана – 1500 мм, длина – 1500 мм, диаметр шейки – 3000 мм.

Кабельные барабаны установлены параллельно по четыре штуки в кабельных колодцах левого и правого бортов. Такая установка в сочетании с разделным приводом каждого из них позволяет осуществить одновременную прокладку двух линий электротрасс кабелями, как одинаковых, так и разных марок. Привод барабанов раздельный, осуществляемый от трехфазных электродвигателей мощностью $N = 10$ кВт, при $n = 1000$ об/мин. (табл. 1)

Привод может работать в двух режимах:

- намотка кабеля на штатные барабаны с береговых хранилищ (подъем кабеля со дна при ремонте);
- укладка кабеля со штатных барабанов на дно.

Сход кабеля с барабана обеспечивается усилием, возникающим при буксировке кабелеукладчика, а также частично под действием собственного веса кабеля, при этом кабельный барабан от механизма привода отключается.

Предотвращение слабину укладываемого кабеля и образования на дне петля при самораскручивании барабана во время уменьшения скорости буксировки или рывков осуществляется притормаживанием барабана электрогидравлическим тормозом типа ТКГ-600-П-2 с тормозным моментом 4,9 кНм.

При подъеме кабеля с глубины 40 м наибольшее тяговое усилие на барабане – 7,2 кН, мощность, развиваемая приводом при линейной скорости движения кабеля 0,75 м/с – 704 кВт. Введение в схему механизма привода электрических элементов сцепной муфты и тормоза позволило повысить степень автоматизации работы и осуществить дистанционное управление кабелеукладочными механизмами без сложной системы валиковых и тросовых приводов, которые при значительной удаленности механизмов от пуля та управления получились бы весьма громоздкими и ненадежными.

Вместе с тем данное техническое решение снижает общую инерционность системы и позволяет получить практически мгновенное управление режимами работ механизмов, в то время как механические системы, оборудованные валиковыми и тросовыми приводами такой протяженности, имеют время срабатывания в пределах 6–9 секунд. Опорно-ограничительные устройства, установленные на высоком фундаменте между кабельным барабаном и направляющим шкивом, ограничивают перемещение кабеля в вертикальной и горизонтальной плоскостях и совместно с направляющим шкивом обеспечивают горизонтальное положение кабеля, предотвращая изгиб последнего.

Каждое опорно-ограничительное

устройство снабжено четырьмя вращающимися в шарикоподшипниках цилиндрическими роульсами (двумя горизонтальными и двумя вертикальными). Верхний горизонтальный роульс, снабженный штыревым затвором, выполнен откидывающимся. Размер просвета между направляющими роульсами 350×350 мм обеспечивает проход всех видов укладываемых или поднимаемых кабелей вместе с усилителями и соединительными муфтами без снятия кабеля с технологической линии.

Над каждым опорно-ограничительным устройством на шарнире установлена откидывающаяся стойка-трубопровод, предназначенная для обмыва кабеля, поднимаемого со дна моря.

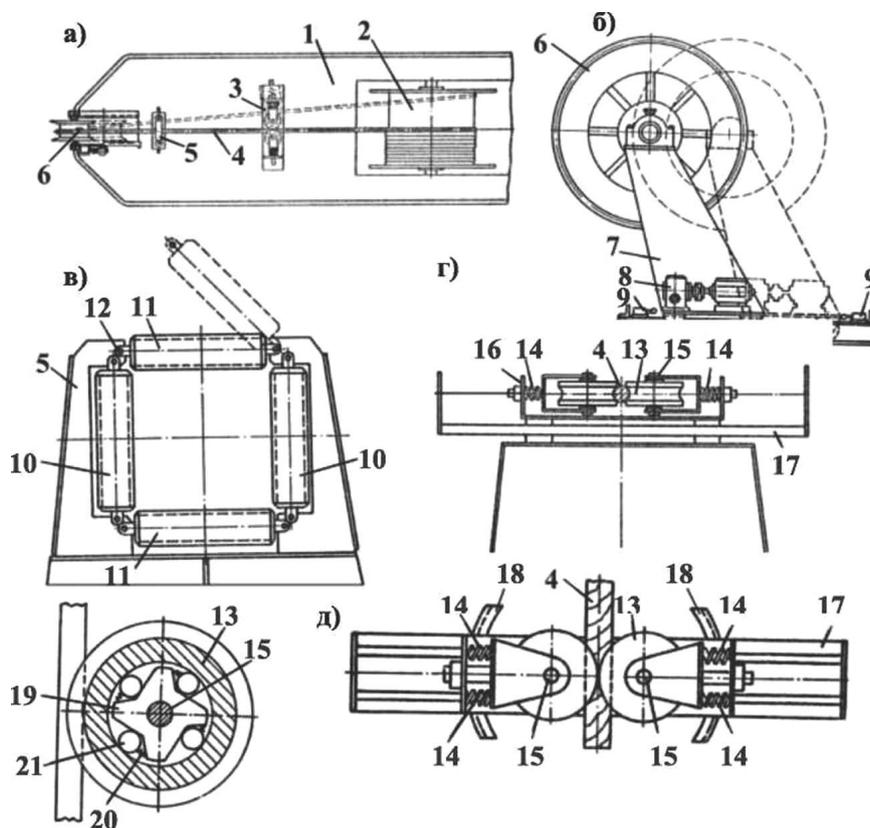


Рис. 3. Устройство для укладки и подъема кабеля: а – вид в плане; б – передний направляющий механизм; в – опорно-ограничительное устройство; г – натяжной механизм; д) инерционный блокиратор натяжения
1 – плавучее средство; 2 – барабан; 3 – натяжной механизм; 4 – кабель; 5 – опорно-ограничительное устройство; 6 – направляющий шкив; 7 – передвижной фундамент; 8 – индивидуальный привод; 9 – путевой выключатель; 10 – вертикальный роульс; 11 – горизонтальный роульс; 12 – штыревой затвор; 13 – ролики; 14 – пружины; 15 – вертикальная ось вращения; 16 – обойма; 17, 18 – основные и дополнительные направляющие, обеспечивающие перемещение обоймы с роликами; 19 – фигурный инерционный блокиратор; 20 – пружины; 21 – ролики блокиратора

Два кабельных направляющих шкива расположены в кормовой части баржи в плоскостях продольных осей кабельных барабанов правого и левого бортов. Направляющий шкив представляет собой сварную конструкцию, установленную на роликах и передвигающуюся по направляющим в продольной плоскости судна таким образом, что при максимальном вылете направляющий шкив выходит за наружный габарит судна. Шкив предназначен для предотвращения резких перегибов кабеля при сходе последнего в воду и исключает трение кабеля о выступающие части судна.

На стойках шкивов смонтированы по два счетчика оборотов типа СО-35, связанных с осями шкивов цилиндрической зубчатой передачей. Счетчики служат для подсчета длины кабеля, проходящего через шкивы как в прямом (прием кабеля), так и в обратном (укладка на дно) направлениях. Передача точное отношение цилиндрической передачи подобрано таким образом, что отсчет длины кабеля ведется непосредственно по шкале счетчика в метрах.

Судовой полноповоротный электрический кран грузоподъемностью 3,2 т, предназначенный для подъема ремонтируемого подводного кабеля на борт, установлен в диаметральной плоскости баржи в кормовой части и имеет следующие характеристики: вылет стрелы – 4–12 м, высота подъема – 20 м.

Представляет практический интерес «Устройство для укладки и подъема подводного кабеля» (рис. 3), защищенное авторским свидетельством № 1181936 (Р.Н. Караев, А.И. Скобликов, Л.Я. Тареканов. Бюллетень изобретений, 1985, № 36), согласно которому между опорно-ограничительным устройством 5, выполненным в виде замкнутой рамки, образованной двумя вертикальными и двумя горизонтальными роульсами и передвижным направляющим шкивом 6 с индивидуальным приводом и путевым выключателем, установлен натяжной механизм 3, включающий расположенные в обоймах и подпружиненные относительно них ролики 13 [3].

Для заводки между ними кабеля 4, оси вращения которых имеют инерционные блокираторы вращения 19, этом обоймы установлены с возможностью перемещения в поперечной плоскости судна и вращения вокруг вертикальной оси [3].

Кабелеукладочная баржа (пр. 7900, главный инженер проекта – Р.Н. Караев) предназначена для прокладки и капитального ремонта морских кабельных

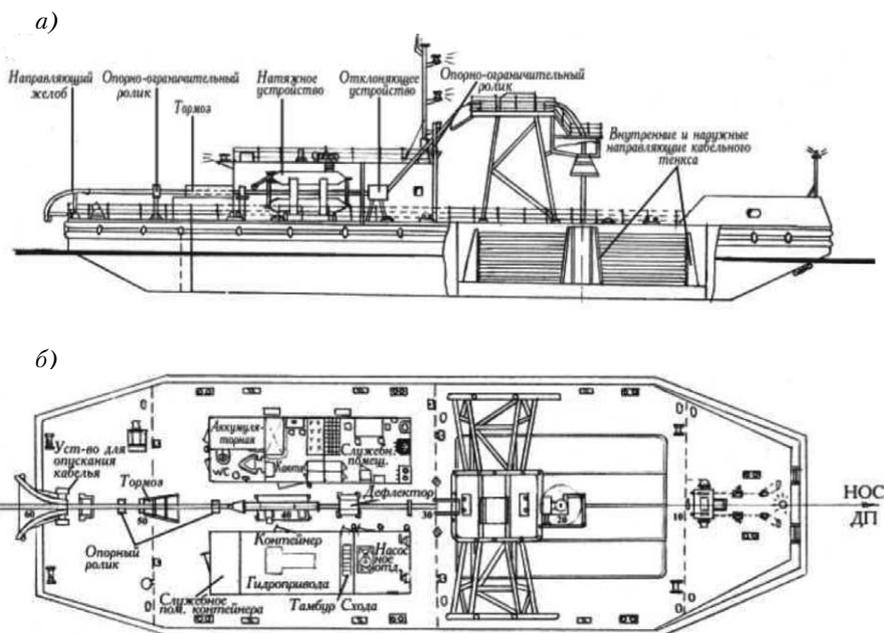


Рис. 4. Кабелеукладочная баржа (пр. 7900) для прокладки и ремонта внутримышловых электрических кабелей: а – боковой вид; б – вид палубы

Таблица 2

Примерная вместимость тенкса в зависимости от марки кабеля

Марка кабеля	Сечение кабеля, мм ²	Диаметр кабеля, мм	Масса кабеля, т	Длина кабеля, км	Высота бухты, м
ПК-6	3×70	55	176,0	28,0	3,0
ПК-6	3×95	65	197,0	26,0	3,0
ПК-6	3×120	75	220,0	25,0	3,0
ПЭК-35	1×70	54,5	171,0	28,0	3,0
ПЭК-35	1×95	56,2	185,0	28,0	3,0

линий электропередач на глубинах моря до 100 м (рис. 4).

Баржа спроектирована на класс Регистра К® II. Район плавания ограниченный II, Каспийское море с удалением от места убежища до 50 миль и с допустимым расстоянием между портами-убежищами до 100 миль, при силе ветра до 7 баллов и высоте волны 3%-ной обеспеченности до 4,0 м.

Кабелеукладчик представляет собой металлический понтон с вертикальными бортами, плоским дном и подрезами в носовой и кормовой оконечностях и имеет следующие габариты: длина – 35,5 м, ширина – 12,5 м, высота борта – 3,5 м.

Архитектурно-конструктивный тип баржи характеризуется носовым расположением кабельного трюма, несколько смещенной от диаметральной плоскости к левому борту рубкой, предназначенной для размещения жилых и служебных помещений, санузла и аккумуляторной. Машинное отделение расположено под главной палубой. По правому борту расположена гидросиловая установка для

обслуживания кабелеукладочной линии. Над кабельным трюмом установлена опорная металлоконструкция, входящая в состав кабелеукладочного комплекса.

Кабельный трюм оборудован тенксом с наружными и внутренними направляющими для хранения и транспортировки кабельной бухты (табл. 2).

Для проведения полного цикла работ по укладке и ремонту подводного кабеля на палубе баржи в диаметральной плоскости предусмотрена кабелеукладочная линия, включающая в себя:

- натяжное устройство;
- прибор измерения натяжения;
- дизель-гидравлический привод;
- аварийный тормоз;
- вспомогательную лебедку;
- вспомогательное натяжное устройство;
- опорную металлоконструкцию;
- комплект опорно-ограничительных роликов;
- направляющий желоб;
- отклоняющее устройство;
- систему для мойки кабеля. ■

Продолжение следует

Введение в 2022 г. ограничительных мер в отношении Российской Федерации со стороны недружественных иностранных государств оказало значительное влияние на проектирование и строительство судов гражданского флота. В этой ситуации импортозамещение стало одной из приоритетных и в целом выполнимых задач, однако при серийном строительстве заказов с учетом невозможности поставки определенной части импортного оборудования, в том числе судового комплектующего оборудования, заложенного в проект, возникает необходимость перепроектирования в том или ином объеме. В зависимости от того, какой тип комплектующего оборудования не может быть поставлен, определяется масштаб изменения проекта, которые в некоторых ситуациях могут привести к фундаментальным изменениям.

В январе 2022 г. АО «ПСЗ «Янтарь» в рамках реализации государственного контракта на постройку многофункционального аварийно-спасательного судна мощностью 7 МВт пр. MPSV06M заключило контракт с АО «КБ «Вымпел» (предприятия входят в ОСК) на разработку конструкторской документации, а именно проектной, рабочей, приемосдаточной и эксплуатационной документации.

Государственным контрактом предусматривалась разработка конструкторской документации на основе документации контрактного проекта в составе:

- предварительной спецификации;
- нагрузки масс порожнем;
- общего расположения;
- перечня оборудования.

В начале проектных работ КБ «Вымпел» провело анализ документации контрактного проекта и материалов на суда-прототипы («Мурман» и «Берингов пролив»). Документация контрактного проекта предусматривала применение на судне значительного количества импортного оборудования, поставка которого с введением санкций в отношении Российской Федерации стала невозможна. Подобранные альтернативные варианты судового комплектующего оборудования отличаются от ранее предусмотренного контрактным проектом, в первую очередь по своим массогабаритным характеристикам. К сожалению, эти отличия оказались не в пользу альтернативного оборудования. К такому оборудованию и материалам в первую очередь можно отнести системы очистки выхлопных газов, 50-тонный кран, металлопрокат; электрические движительно-рулевые колонки, главные дизель-генераторы, подводящие устройства.

Применение альтернативного оборудования привело к увеличению нагрузки масс судна порожнем и возвышению центра тяжести судна, что, в свою оче-

РАБОТА В НОВЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ: ВОПРОС ЗАМЕНЫ СУДОВОГО КОМПЛЕКТУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА MPSV06M

*Д.А. Посадов, врио ген. директора,
И.Н. Котихин, гл. конструктор,
АО КБ «Вымпел»,
контакт. тел. (812) 433 4149*



Многофункциональное аварийно-спасательное судно «Берингов пролив» – прототип проекта MPSV06M

редь, потребовало проработки множества вариантов размещения оборудования и жидких сред в корпусе, расчетов по теории корабля и, в конечном итоге, к необходимости увеличения главных размеров судна. Увеличение главных размеров судна потребовалось согласовывать с госзаказчиком, а также проводить экспертизы и проверки, так как это непосредственно связано со стоимостью постройки судна, зафиксированной судостроительным контрактом.

Параллельно с решением вопроса об утверждении новых главных размеров госзаказчиком КБ «Вымпел», заручившись поддержкой завода-строителя, взяло на себя риск и приступило к разработке предварительной проектной документации судна в постройке в соответствии с новыми главными размерениями с целью в последующем разработать исходные технические требования к поставляемому оборудованию и материалам для проведения закупочной кампании.

В ходе проведения закупочной кампании КБ столкнулось с достаточно большим количеством технических спецификаций на поставку оборудования и материалов, направляемых на рассмотрение со стороны завода-строителя. Поиск подходящего проекту оборудования потребовал изучения возможности применения множества альтернатив. Так, например, было рассмотрено 10 возможных вариантов поставки главных дизель-генераторов, при этом на данный момент до сих пор

не определены их поставщик и конкретная модель.

Основная причина в затянувшемся процессе выбора поставщика главных дизель-генераторов заключается в том, что до сих пор в Российской Федерации не производятся современные отечественные судовые дизели, аналогичные по характеристикам дизелям производства Финляндии или Германии. Отсутствие решения с выбором производителя и поставщика главных дизель-генераторов и их марки сдерживает (затрудняет) выбор поставщиков и конкретных моделей оборудования, обслуживающего главные дизель-генераторы. В настоящее время с целью выхода из сложившейся ситуации прорабатывается вариант применения главных дизель-генераторов на основе дизеля европейской компании, выпускаемого по лицензии в Китае.

Необходимо отметить, что процесс выбора судового комплектующего оборудования (СКО) для судна в целом затянулся, что, в свою очередь, приводит к невозможности приступить к корректировке проектной документации судна в постройке по результатам проведения закупочной кампании и дальнейшей разработки рабочей конструкторской документации.

Опыт проделанной работы однозначно указывает на необходимость скорейшего развития производства отечественного СКО, пересмотра порядка подписания судостроительных контрактов и выбора контрагентов верфей-поставщиков СКО. ■

Одним из важнейших аспектов борьбы с вредными последствиями вибрации и усталости является учет демпфирующих свойств конструкционных материалов на стадии расчетного проектирования [1].

В последние годы стало стандартной практикой определять вибрации конструкций на договорной основе как часть спецификации. В контракте на постройку, например, судна предельные значения этих свойств не должны расти во время его эксплуатации.

На стадии предварительного проектирования верфь проводит соответствующий анализ или поручает его независимому консультанту. Объем теоретических исследований, которые считаются необходимыми для этого, зависит от согласованных предельных значений, типа судна, двигательной установки и т.д.

По сути, в спецификацию включают определение пределов вибрации:

- воздействующих на человека,
- структурных,
- двигателей и элементов оборудования.

Существующие стандарты направлены исключительно на обеспечение комфорта и благополучия человека, несмотря на воздействие вибраций, т.е. обеспечение обитаемости. Если рекомендуемые пределы не будут превышены, ущерб здоровью маловероятен [2].

При исследовании амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) конструкционных материалов важно знать их коэффициент демпфирования, поскольку демпфирование обеспечивает затухание вибрационного процесса и используется для достоверной оценки области резонанса и появления вибрационных трещин в конструкционных материалах.

Известно, что коэффициент демпфирования определяют экспериментально. При этом практически невозможно провести чистый и корректный эксперимент – всегда возникает сомнение в том, что экспериментально определен не коэффициент демпфирования (затухания, внутреннего сопротивления) рассматриваемого материала, а свойство демпфирования (АЧХ, а значит, и коэффициенты) конструкции в целом, т.е. с учетом влияния масштабного фактора, граничных условий способа закрепления и возбуждения, конструкции, да еще с учетом влияния внешней среды.

В данной статье авторы ставят своей целью определение коэффициентов демпфирования различных материалов (сталь, дюраль, углепластиковый карбоновый композит и органическое стекло), из которых выполнен колеблющаяся

ЭФФЕКТ ПРЕДЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДА И ФОРМУЛИРОВАНИЕ НА ЕГО ОСНОВЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЕМПФИРОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Н.А. Тарануха, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, заслуженный работник высшей школы РФ, зав. кафедрой,
Мин Ко Ко, аспирант,
Комсомольский-на-Амуре государственный университет,
контакт. тел. nikoltar@yandex.ru, minkoko19@yandex.ru*

объект. Ранее подобные исследования уже проводились под руководством одного из авторов данной статьи – профессора Н.А. Таранухи, но на примитивной экспериментальной базе, причем тогда главной целью было нащупать проявление предполагаемого нового физического (механического) эффекта – эффекта предельного перехода. Такой

эффект был обнаружен, доказательством стало существование предельной точки А на экспериментальных графиках (см. рис. 5, рис. 6). Такая предельная точка выявлена и во всех других экспериментах с другими материалами и другими жидкостями. Существование такой предельной точки – ключевой результат данного исследования.

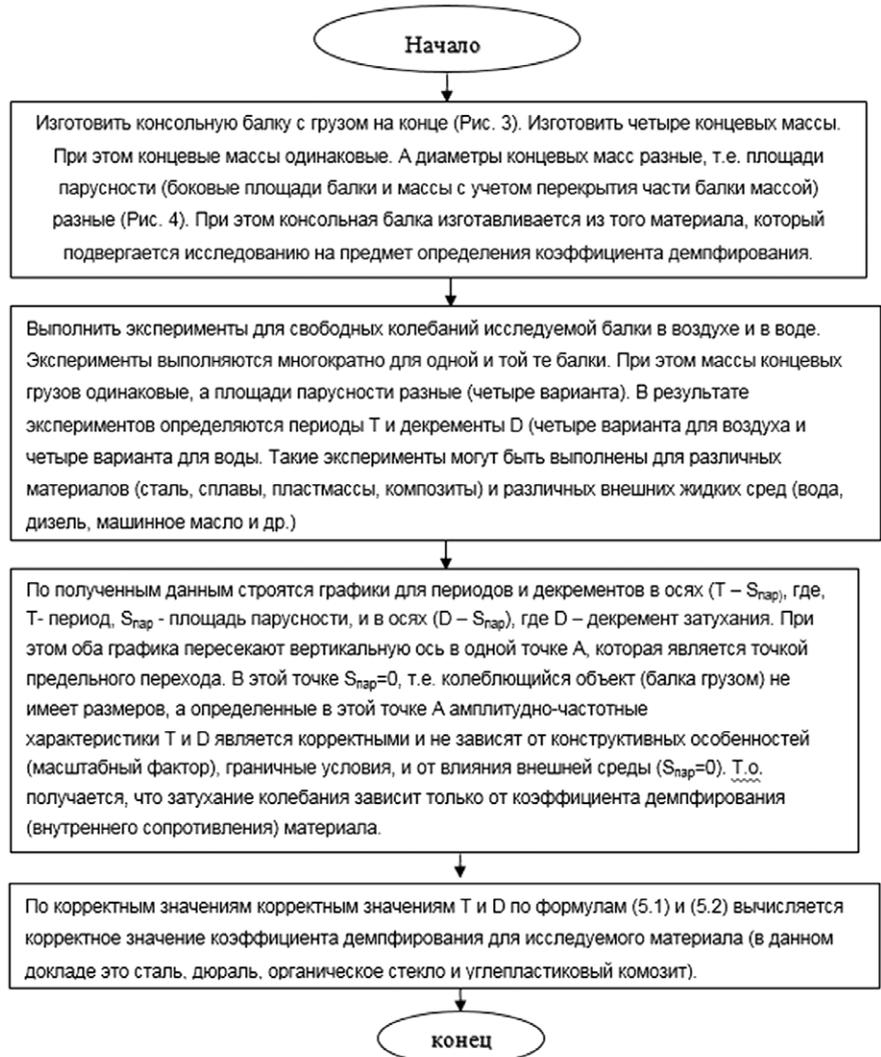


Рис. 1. Структурная схема методики определения коэффициента демпфирования на основе эффекта предельного перехода

Эффект предельного перехода позволяет исключить влияние масштабного фактора и конструктивных особенностей исследуемого объекта. Метод, основанный на использовании эффекта предельного перехода и изложенный в данной статье, является корректным, универсальным и в некотором смысле прорывным в области определения демпфирующих свойств различных упругих материалов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Установка, включающая лазерный виброметр (Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001, Polytec GmbH, Germany), предназначена для определения параметров вибрации механических систем с точечной массой на свободном конце, что позволяет определять АЧХ материала. Для снятия показаний в экспериментах была использована программа Polytec vibrometer software. Обработка экспериментальных данных и построение графиков проводились с помощью программы Microsoft Excel. Структурная схема (алгоритм) проведения экспериментов представлен в на рис. 1.

ГРАФИКИ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ БАЛОК

Для определения параметров свободных колебаний механической системы с точечной массой необходимы были одинаковые консольные балки из того материала, для которого определяли коэффициенты демпфирования (рис. 2).



Рис. 2. Вид консольной балки

Замер АЧХ модели и флажка проводился в программе Polytec vibrometer software. В работе использованы четыре модели с разными площадями парусности (рис. 4). У всех моделей массы концевого груза одинаковые. Графики АЧХ исследуемых материалов при свободных колебаниях показаны на рис. 3, а–г.

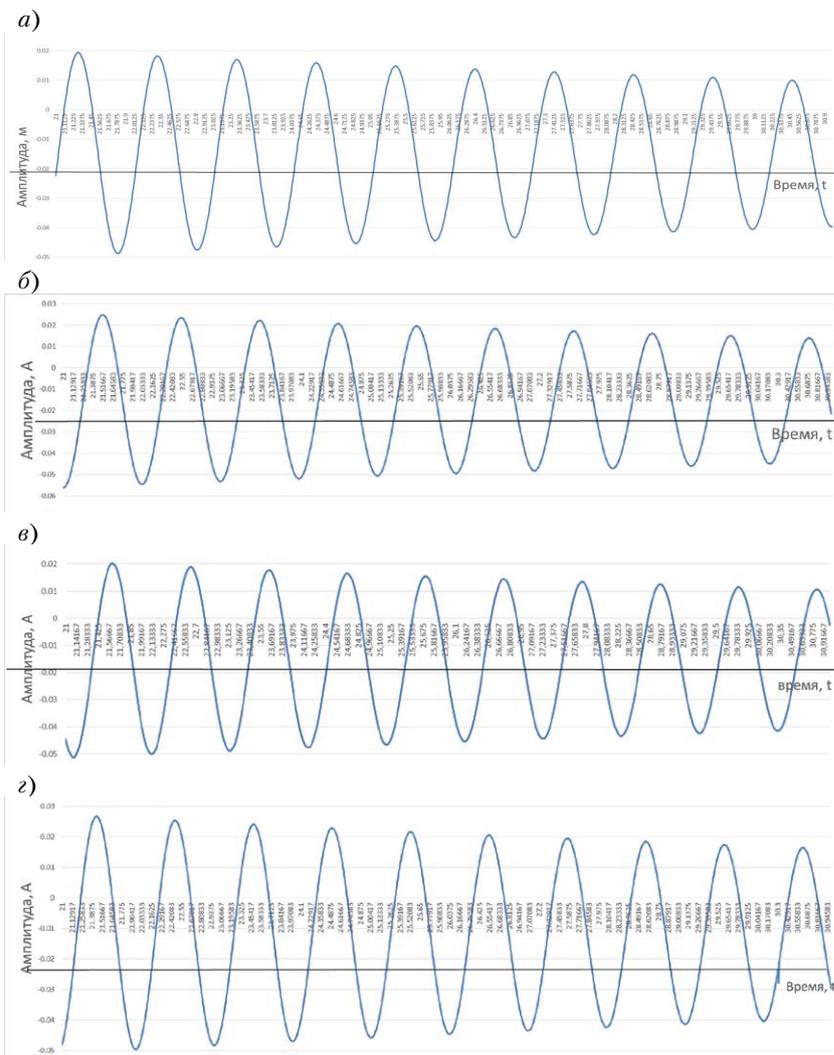


Рис. 3. Графики (полиномы) затухающих колебаний консольной балки из стали (а), дюралья (б), карбонового углепластикового композита (в), органического стекла (г)

Площадь парусности $S_{\text{пар}}$, т.е. площадь боковой поверхности колеблющейся балки, включает в себя боковую площадь концевого груза и боковую площадь самой балки (см. рис. 2) и испытывает при колебаниях сопротивление внешней среды (воздуха или жидкости) за вычетом площади перекрытия

балки концевым грузом (табл. 1–4).

В табл. 1–4 обозначено: № 1–4 – вариант модели (см. рис. 4); $d_{\text{гр}}$ – диаметр поверхности груза, м; $S_{\text{гр}}$ – площадь поверхности груза, м²; $S_{\text{блк}}$ – площадь парусности балки, м²; $S_{\text{пер}}$ – перекрываемая площадь, м²; $S_{\text{пар}}$ – общая площадь парусности, м².

Вычисления общей площади парусности (сталь)

Таблица 1

№	$d_{\text{гр}}, \text{м}$	$S_{\text{гр}}, \text{м}^2$	$S_{\text{блк}}, \text{м}^2$	$S_{\text{пер}}, \text{м}^2$	$S_{\text{пар}}, \text{м}^2$
1	$67 \cdot 10^{-2}$	$3,526 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$0,82 \cdot 10^{-3}$	$9,706 \cdot 10^{-3}$
2	$58 \cdot 10^{-2}$	$2,642 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$0,72 \cdot 10^{-3}$	$8,922 \cdot 10^{-3}$
3	$47 \cdot 10^{-2}$	$1,735 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$0,60 \cdot 10^{-3}$	$8,135 \cdot 10^{-3}$
4	$35 \cdot 10^{-2}$	$0,926 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$0,46 \cdot 10^{-3}$	$7,50 \cdot 10^{-3}$

Вычисления общей площади парусности (дюраль)

Таблица 2

№	$d_{\text{гр}}, \text{м}$	$S_{\text{гр}}, \text{м}^2$	$S_{\text{блк}}, \text{м}^2$	$S_{\text{пер}}, \text{м}^2$	$S_{\text{пар}}, \text{м}^2$
1	$67 \cdot 10^{-2}$	$3,526 \cdot 10^{-3}$	$14,2 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$15,726 \cdot 10^{-3}$
2	$58 \cdot 10^{-2}$	$2,642 \cdot 10^{-3}$	$14,2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$15,082 \cdot 10^{-3}$
3	$47 \cdot 10^{-2}$	$1,735 \cdot 10^{-3}$	$14,2 \cdot 10^{-3}$	$1,76 \cdot 10^{-3}$	$14,735 \cdot 10^{-3}$
4	$35 \cdot 10^{-2}$	$0,926 \cdot 10^{-3}$	$14,2 \cdot 10^{-3}$	$0,962 \cdot 10^{-3}$	$14,2 \cdot 10^{-3}$

Таблица 3
Вычисления общей площади парусности (карбонный углепластиковый композит)

№	$d_{гр}, м$	$S_{гр}, м^2$	$S_{блк}, м^2$	$S_{пер}, м^2$	$S_{пар}, м^2$
1	$67 \cdot 10^{-2}$	$3,526 \cdot 10^{-3}$	$13,94 \cdot 10^{-3}$	$2,13 \cdot 10^{-3}$	$15,334 \cdot 10^{-3}$
2	$58 \cdot 10^{-2}$	$2,642 \cdot 10^{-3}$	$13,94 \cdot 10^{-3}$	$1,89 \cdot 10^{-3}$	$14,696 \cdot 10^{-3}$
3	$47 \cdot 10^{-2}$	$1,735 \cdot 10^{-3}$	$13,94 \cdot 10^{-3}$	$1,40 \cdot 10^{-3}$	$14,275 \cdot 10^{-3}$
4	$35 \cdot 10^{-2}$	$0,926 \cdot 10^{-3}$	$13,94 \cdot 10^{-3}$	$0,962 \cdot 10^{-3}$	$13,94 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4
Вычисления общей площади парусности (органическое стекло)

№	$d_{гр}, м$	$S_{гр}, м^2$	$S_{блк}, м^2$	$S_{пер}, м^2$	$S_{пар}, м^2$
1	$67 \cdot 10^{-2}$	$3,526 \cdot 10^{-3}$	$14,08 \cdot 10^{-3}$	$1,84 \cdot 10^{-3}$	$15,766 \cdot 10^{-3}$
2	$58 \cdot 10^{-2}$	$2,642 \cdot 10^{-3}$	$14,08 \cdot 10^{-3}$	$1,68 \cdot 10^{-3}$	$15,042 \cdot 10^{-3}$
3	$47 \cdot 10^{-2}$	$1,735 \cdot 10^{-3}$	$14,08 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$14,815 \cdot 10^{-3}$
4	$35 \cdot 10^{-2}$	$0,926 \cdot 10^{-3}$	$14,08 \cdot 10^{-3}$	$0,962 \cdot 10^{-3}$	$14,08 \cdot 10^{-3}$

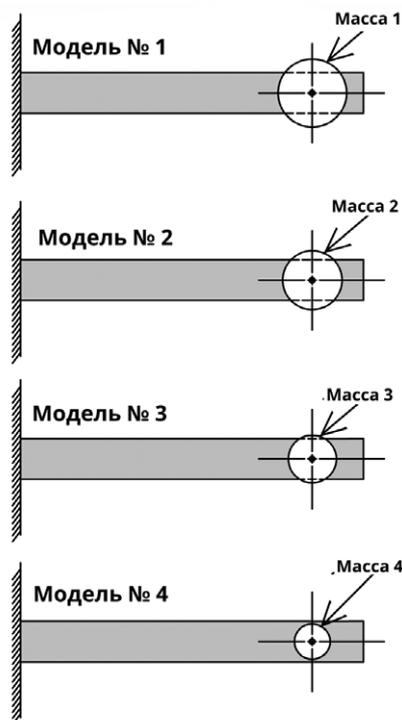


Рис. 4. Модели с разными площадями парусности, но с грузами одинаковой массы

Лазерный виброметр направляет луч и получает обратно его через специальное отверстие в стенке чаши. При этом луч направляется на отражательную пластину, наклеенную на поверхности концевое груза колеблющейся балки. Если рассматривается колебание балки в жидкости, то на концевой груз крепится специальный вертикальный стержень с отражательной площадкой (флажок), который возвышается над поверхностью жидкости. В этом случае луч виброметра направляется на этот флажок, на котором наклеена отражательная пластина.

Для успешного снятия данных с консоли с флажком в жидких средах необ-

ходимо учитывать его дополнительные колебания, которые определяются с помощью специальных тестовых экспериментов.

После снятия показаний АЧХ на модели и на флажке полученные данные обрабатываются с помощью программы Microsoft Excel. По этим данным строятся графики зависимости периода T и декремента D от площади парусности $S_{пар}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

В результате экспериментов для каждой из четырех балок из разного материала строили графики (полино-

мы) зависимостей периодов T и декрементов D от площадей парусности $S_{пар}$ при колебаниях в жидкости и воздухе. Эти графики пересекают вертикальную ось в одной точке – А. Так происходит всегда для любых жидкостей и любых материалов, что и есть проявление новой закономерности – эффекта предельного перехода.

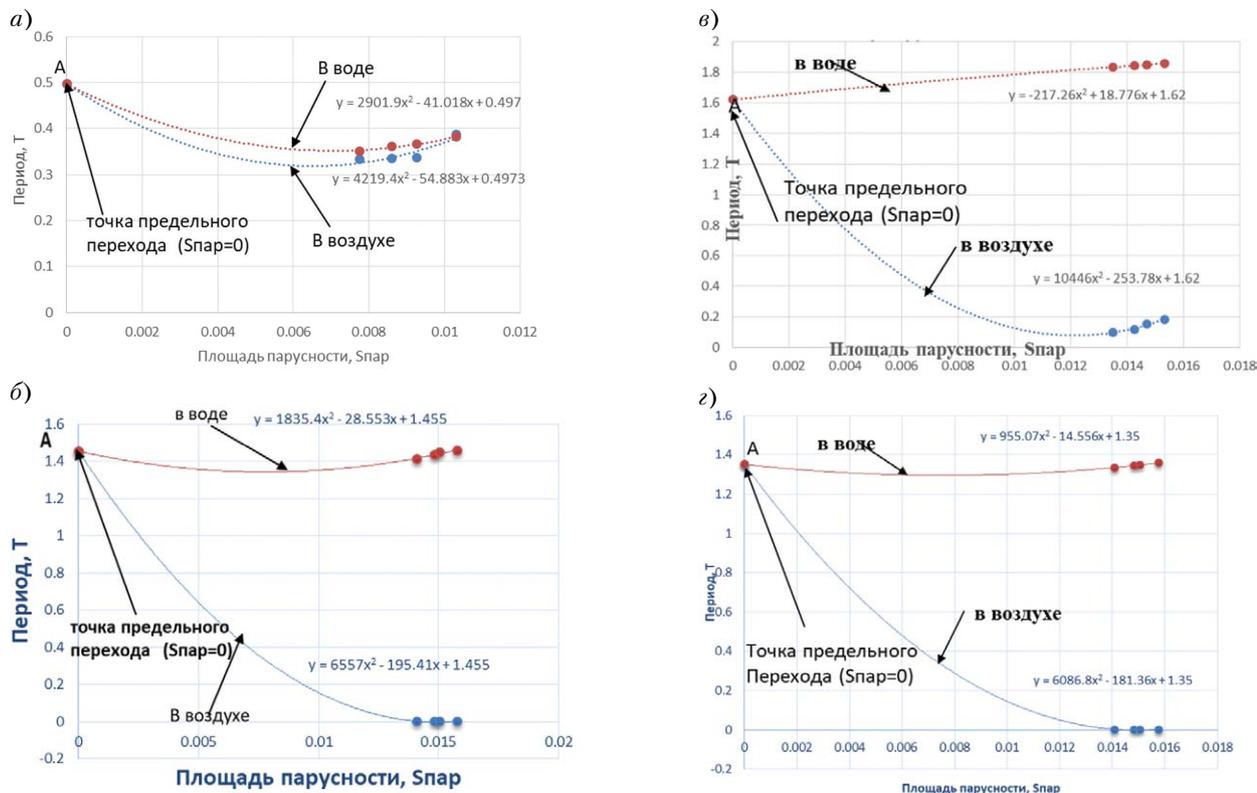


Рис. 5. Графики зависимости периода T от площади парусности $S_{пар}$ для стальной (а), дюралюминиевой (б), композитной (в) и пластмассовой балки (з)

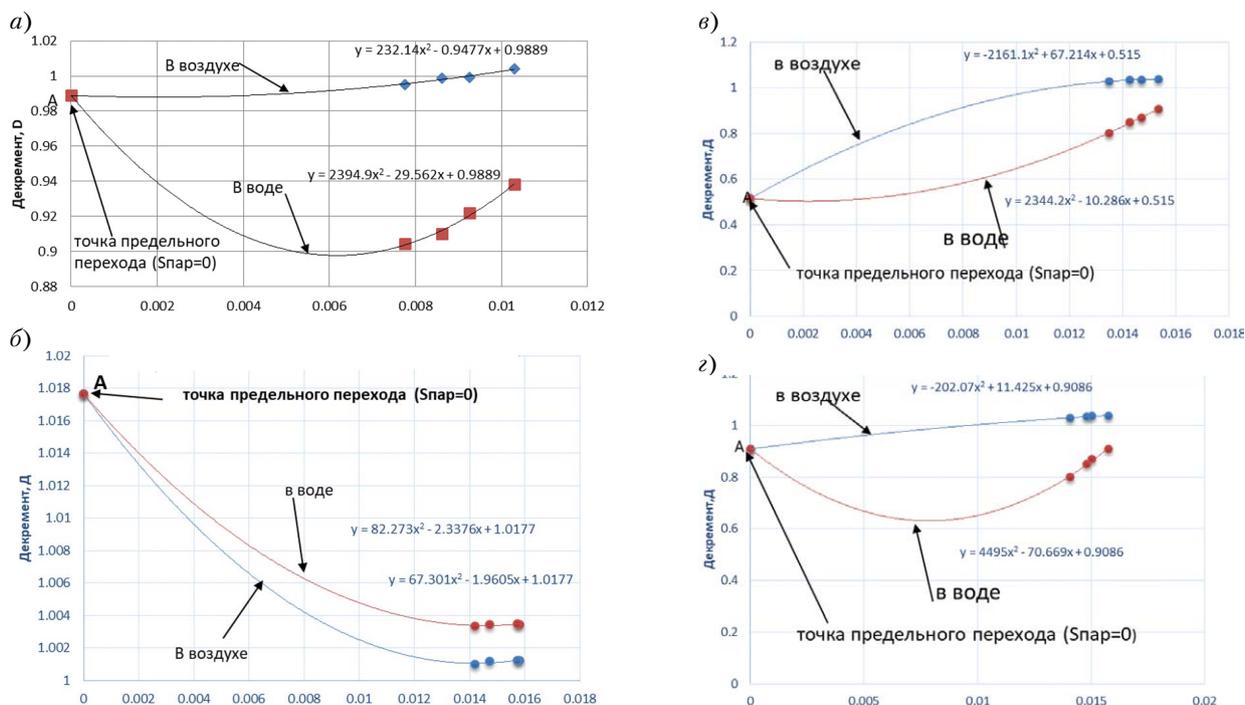


Рис. 6. Графики зависимости декремента D от площади парусности $S_{\text{пар}}$ для стальной (а), дюралюминиевой (б), композитной (в) и пластмассовой балки (г)

Как видим, все графики для воздуха и жидкости при уменьшении до нуля площади парусности колеблющейся балки сходятся в одной точке А – точке предельного перехода, где реальных размеров у этой конструкции нет, а значит, нет и влияния масштабного фактора. Соответствующие этой точке АЧХ (период T и декремент D) являются предельными. Получить точку А прямым экспериментом нельзя, только методом экстраполяции значений T и D при других экспериментальных значениях площади парусности $S_{\text{пар}}$ исследуемой конструкции. Для выполнения процедуры экстраполяции предварительно строится функция полинома по известным экспериментальным значениям. Этот полином при $S_{\text{пар}} = 0$ дает предельные значения периода $T_{\text{пред}}$ и декремента $D_{\text{пред}}$, по которым вычисляются искомые значения коэффициента внутреннего сопротивления (коэффициент демпфирования) материала колеблющейся конструкции:

$$\psi = 2 \ln D_{\text{пред}} \quad (1)$$

коэффициент внутреннего сопротивления (коэффициент демпфирования)

$$\gamma = \frac{\psi}{2\pi} \quad (2)$$

Так как площадь парусности колеблющейся конструкции в предельной точке А равна нулю (это точка пересечения с вертикальной осью, то в этой точке исчезает влияние внешней среды (предельное состояние по влиянию внешней среды). Повторим: именно поэтому точка А является точкой предельного перехода, поскольку в ней колеблющаяся конструкция как бы переходит в пре-

Значения коэффициентов поглощения ψ и внутреннего сопротивления (демпфирования) γ Таблица 5

Материал, конструкция, среда	Коэффициент поглощения ψ , [6, 11, 12, 13]	Коэффициент внутреннего сопротивления γ , по данным авторов работ	
		[3, 4, 7, 11, 12, 13]	[10]
Материалы			
Алюминий	0,02–0,04	0,003–0,006	
Бетон	0,26	0,041	
Дуб	0,11	0,017	
Дюралюминий	0,2–0,6	0,003–0,009	0,0056
Железобетон	0,25	0,040	
Латунь	0,01	0,002	
Медь	0,33	0,053	
Никель	0,03	0,005	
Резина	0,20–1,20	0,032–0,190	
Сосна	0,07	0,011	
Сталь	0,01–0,03	0,002–0,005	0,0035
Стеклопластик	0,20–0,40	0,032–0,064	0,032
Чугун серый	0,23	0,036	
Карбоновый композит (углепластик)	3,2389		0,515
Конструкции			
Кирпичная кладка	0,25	0,040	
Конструкция деревянная	0,30–0,35	0,048–0,056	
Конструкция железобетонная	0,50	0,060–0,090	
Конструкция стальная	0,16–0,18	0,025–0,028	
Конструкция из стеклопластика	0,60–0,80	0,095–0,127	
Стальные мосты	0,04–0,31	0,006–0,050	
Судовые стальные днищевые перекрытия	0,40–0,60	0,064–0,095	
Судовые стальные мачты	0,20–0,45	0,032–0,072	

дельное состояние, когда у конструкции нет размеров (нет площади парусности) и нет влияния сопротивления внешней среды (например, окружающей жидкости).

Для такой колеблющейся системы сопротивление (затухание колебаний) обуславливается только наличием внутреннего сопротивления материала колеблющейся конструкции. Заметим, что все графики для всех материалов и для всех внешних сред в других экспериментах уверенно и постоянно сходятся (пересекают вертикальную ось) в одной точке A – точке предельного открытого перехода. Существование такого эффекта – отражение того факта, что демпфирующие свойства материала являются некоторыми фундаментальными характеристиками (для динамических задач), как и их статические характеристики (модуль упругости и коэффициент Пуассона). Есть материал – есть его динамическая константа – коэффициент демпфирования (табл. 5).

ВЫЧИСЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ ДЕКРЕМЕНТА D ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

$$D_{\text{сталь}} = 0,9889 \text{ (для стальной балки);}$$

$$\Psi_{\text{сталь}} = 2 \ln D_{\text{сталь}} = 2 \ln(0,9889) = 0,022;$$

$$D_{\text{дюраль}} = 1,0177 \text{ (для дюралюминиевой балки);}$$

$$\gamma_{\text{сталь}} = \frac{\Psi_{\text{сталь}}}{2\pi} = \frac{0,022}{2\pi} = \frac{0,022}{2 \times 3,142} = 0,0035;$$

$$\Psi_{\text{дюраль}} = 2 \ln D_{\text{дюраль}} = 2 \ln(1,0177) = 0,035;$$

$$\gamma_{\text{дюраль}} = \frac{\Psi_{\text{дюраль}}}{2\pi} = \frac{0,035}{2\pi} = \frac{0,035}{2 \times 3,142} = 0,0056;$$

$$D_{\text{комп}} = 0,198 \text{ (для композитной балки);}$$

$$\Psi_{\text{комп}} = 2 \ln D_{\text{комп}} = 2 \ln(0,198) = 3,2389;$$

$$\gamma_{\text{комп}} = \frac{\Psi_{\text{комп}}}{2\pi} = \frac{3,2389}{2\pi} = \frac{3,2389}{2 \times 3,142} = 0,515;$$

$$D_{\text{стек}} = 0,9086 \text{ (для органического стекла);}$$

$$\Psi_{\text{стек}} = 2 \ln D_{\text{стек}} = 2 \ln(0,9086) = 0,2;$$

$$\gamma_{\text{стек}} = \frac{\Psi_{\text{стек}}}{2\pi} = \frac{0,2}{2\pi} = 0,32.$$

Здесь $D_{\text{сталь}}$ – декремент стали, $D_{\text{дюраль}}$ – дюралюминия, $D_{\text{комп}}$ – композита, $D_{\text{стек}}$ – органического стекла; $\Psi_{\text{сталь}}$ – коэффициент поглощения стали, $\Psi_{\text{дюраль}}$

– дюралюминия, $\Psi_{\text{комп}}$ – композита, $\Psi_{\text{стек}}$ – органического стекла; $\gamma_{\text{сталь}}$ – коэффициент демпфирования стали, $\gamma_{\text{дюраль}}$ – дюралюминия, $\gamma_{\text{комп}}$ – композита, $\gamma_{\text{стек}}$ – органического стекла.

ВЫВОДЫ

Использование предложенной идеи предельного перехода позволило определить коэффициент демпфирования (внутреннего сопротивления) стали, дюралюминия, карбонового углепластикового композита и оргстекла.

В данной работе по полученным на установке экспериментальным данным с помощью программы Polytec vibrometer software были построены графики АЧХ консольной балки и определены коэффициенты внутреннего демпфирования различных конструктивных материалов (сталь, дюраль, композит и оргстекло) в средах «воздух» и «вода». Получены графики зависимости периода T и декремента D от площади парусности $S_{\text{пар}}$. При этом использовался лазерный виброметр (Polytec High Speed Laser Vibrometer HSV2001, Polytec GmbH, Germany).

Коэффициенты демпфирования (внутреннего трения), полученные экспериментально для стальной, дюралюминиевой, композитной балки и балки из стеклопластика полностью соответствуют известным справочным значениям, полученным другими авторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Assumsen Iwer, Menzel Wolfgang, Mumm Holger.* Ship Vibration. – Germanischer Lloyd, Hamburg, 2001.
2. American Bureau of Shipping, Guidance notes on ship vibration. – Houston, USA: American Bureau of Shipping ABS Plaza, 2006.
3. *Антоненко С. В.* Вибрация судов: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 148 с.
4. *Постнов В. А., Калинин В. С., Ростовцев Д. М.* Вибрация корабля – Л.: Судостроение, 1983. – 248 с.

5. *Сорокин Е. С. Пановко Е. С.* Метод учета неупругого сопротивления материала при расчете конструкций на колебания. – Сб. Исследования по динамике сооружений – М.: Госстройиздат, 1951.
6. *Тарануха Н. А., Худяков С. А.* Динамика упругих систем в машинных отделениях судов с главными малооборотными дизелями. – Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. – 2012. – № 67. – С. 161–168.
7. *Тарануха Н. А., Журбин О. В.* Математическое моделирование колебаний сложных оболочек. Гидроупругая постановка с учетом сопротивления. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 253 с.
8. *Тарануха Н. А., Лейзерович Г. С.* Новые решения в динамике «неправильных» оболочек. – Владивосток: Дальнаука, 2007. – 203 с.
9. *Тарануха Н. А., Лейзерович Г. С.* О влиянии начальных отклонений от идеальной круговой формы цилиндрических оболочек на собственные изгибные колебания // Прикладная механика и техническая физика. – 2001. – Т. 4. – № 2. – С. 180–187.
10. *Тарануха Н. А., Мин Ко Ко.* Экспериментальное исследование колебаний стальной балки с целью определения коэффициентов демпфирования материала на основе идеи предельного перехода с помощью лазерного виброметра // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т. 2. – № 2 (52). – С. 117–122.
11. *Тарануха Н. А., Журбин О. В., Журбина И. Н.* Исследование колебаний судовых стержневых конструкций с учетом сопротивления внешней среды различной плотности. // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре ГТУ. – 2010. – № IV-1(4). – С. 81–91.
12. *Тарануха Н. А., Журбин О. В., Журбина И. Н.* Математическое и экспериментальное моделирование колебаний стержневых судовых конструкций с учетом сопротивления внешней среды различной плотности. // Третья сахалинская региональная морская науч.-техн. конфер., Южно-Сахалинск, 2011, с. 82–94.
13. *Тарануха Н. А., Мин Ко Ко.* Экспериментальное определение коэффициентов демпфирования дюралюминиевого материала на основе идеи предельного перехода с помощью лазерного виброметра // Морской вестник. – 2022. – № (82). – С. 96–98. ■

Как было отмечено ранее [1], продукцией конструкторского бюро судостроения (КБС) является разрабатываемая техническая документация (ТД). Объективной необходимостью процесса разработки ТД как товарного продукта становится поиск путей повышения ее качества и сокращения трудозатрат на выпуск.

Сутью разрабатываемой ТД является информация, необходимая для строительства и эксплуатации судов. Процесс разработки и маршрутизации (передачи) ТД представляет собой движение информации. Каждый технический или сопутствующий ему сопроводительный документ, выполненный в виде электронного файла, а также 3D-модель проектируемого судна, можно рассматривать как электронное информационное сообщение (ЭИС) [1]. Для оптимизации процессов разработки и маршрутизации ЭИС в КБС должна быть создана система электронной информационной логистики (СЭИЛ), представляющая собой совокупность взаимосвязанных участников проектирования судна и программно-технических средств, объединенных единой целью. Цель СЭИЛ – обеспечение каждого участника проектирования и строительства судна необходимой информацией в нужном объеме, в нужное время, в нужном месте с минимальными суммарными затратами на разработку и маршрутизацию ЭИС [1].

Анализ производственных процессов КБС выявил устойчивые повторяющиеся причинно-следственные взаимосвязи между отдельными технологическими операциями по разработке и маршрутизации ЭИС. Полученные результаты позволили сформулировать принципы функционирования системы электронной информационной логистики КБС [1]. Результативность применения принципов СЭИЛ проиллюстрирована представленными примерами оптимизации технологических операций производственного процесса КБС.

ПОВЫШЕНИЕ СТАТУСА ЭЛЕКТРОННОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СООБЩЕНИЯ

Статус электронного информационного сообщения – это степень долженствования ЭИС по отношению к адресату в организационной структуре КБС, т.е. мера обязательности и приоритетности исполнения ЭИС адресатом [1]. Статус ЭИС, как правило, соответствует полномочиям должностного лица, являющегося источником ЭИС (рис. 1). При переадресации ЭИС с целью делегирования другому «Исполнителю» части указанных в ЭИС функций статус

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО СУДОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЛОГИСТИКИ

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

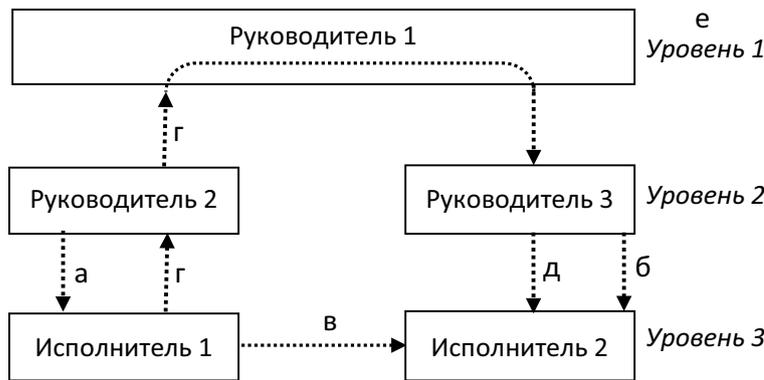


Рис. 1. Маршруты ЭИС разного статуса в организационной структуре конструкторского бюро: а, б – маршрут «сверху вниз» придает высокий статус ЭИС; в – маршрут «по горизонтали» снижает статус ЭИС; г, д – маршрут «по кругу» повышает статус ЭИС; е – должностные уровни оргштатной структуры КБС

ЭИС понижается вместе со статусом источника, что может повлечь снижение приоритетности исполнения ЭИС адресатом.

Задание на разработку ТД, направленное подчиненному по маршруту «сверху вниз» (рис. 1, а, б), обладает максимальным статусом и является безусловно обязательным к исполнению. Однако разработанная «Исполнителем 1» ТД может нуждаться в согласовании (верификации) с производственным подразделением смежной специальности. В этом случае ТД должна быть передана «по горизонтали» от «Исполнителя 1» к «Исполнителю 2» (рис. 1, в). Для «Исполнителя 2» статус (приоритетность исполнения) согласуемой ТД будет объективно ниже, чем статус задания на разработку его собственной ТД (рис. 1, б). В итоге срок завершения разработки ТД «Исполнителем 1» оказывается в зависимости от срока ее согласования «Исполнителем 2». Для того чтобы конфликт статусов ЭИС не повлек нарушения принципа «своевременности» СЭИЛ [1], статус ТД, направленной на согласование, должен быть повышен.

Повысить статус ЭИС можно методом «мотивирования адресата». При на-

правлении ТД на согласование в смежное производственное подразделение «по горизонтали» (рис. 1, в) «Исполнитель 1» может в сопроводительном ЭИС сослаться на требование общего «Руководителя 1» или каким-либо другим образом аргументировать необходимость срочного рассмотрения ТД. Такой метод может способствовать повышению статуса ЭИС, но не всегда побуждает «Исполнителя 2» изменить приоритет при выполнении порученных ему работ, так как ЭИС, отправленное непосредственно «Руководителем 3» (рис. 1, б), все равно будет обладать сравнительно более высоким статусом. К тому же этот метод противоречит принципу «минимальных действий» СЭИЛ [1], поскольку влечет появление дополнительных параллельных потоков сопроводительных ЭИС.

Статус ЭИС можно повысить методом «изменения маршрута». Для этого «Исполнитель 1» отправляет ТД на согласование «Исполнителю 2» не напрямую, «по горизонтали», а «по кругу» – через общего «Руководителя 1» (рис. 1, г, д). Такой маршрут дает возможность «Руководителю 1» назначить «Исполнителю 2» срок рассмотрения ТД, который позволит «Исполнителю 1» своевремен-

но выпустить ТД. Однако этот метод вступает в противоречие с принципом «короткого маршрута» СЭИЛ [1], т.е. увеличивает количество переадресаций ЭИС. И чем больше уровней в организационной структуре КБС от «Исполнителя 1» и «Исполнителя 2» до общего «Руководителя 1» (рис. 1, е), тем длиннее будет маршрут для повышения статуса ЭИС.

Повысить статус ЭИС можно *методом «присвоения постоянного высокого статуса»*. Согласование ТД с производственными подразделениями смежных специализаций – обязательная, циклически повторяющаяся и относительно непродолжительная (по сравнению с разработкой ТД) технологическая операция. Однако ее несвоевременное выполнение приводит к срыву итогового срока разработки ТД. Спланировать точные даты направления всех разрабатываемых документов на согласование крайне затруднительно. В этой связи при планировании производственных работ будет рациональнее централизованно присвоить единый высокий статус всем документам, представляемым на согласование – статуса *внеочередного исполнения*. Статус циклически повторяющихся однородных ЭИС (в частности, ТД, представляемой на согласование в смежные производственные подразделения) должен быть присвоен внутренним нормативным документом КБС, в котором будут установлены приоритеты и сроки исполнения этих ЭИС. Присвоение постоянного высокого статуса циклически повторяющимся ЭИС обеспечивает предсказуемость процесса разработки ТД.

Принцип «повышения статуса» ЭИС может быть распространен и на ЭИС, которыми КБС обменивается с внешними организациями: заказчиком проекта судна, надзорными органами, другими участниками разработки проекта судна, пр. Зафиксировать статус ЭИС (сроки его исполнения) можно в документе, совместно оформленном организациями, например, в договоре на выполнение работ или протоколе технического совещания сотрудничающих организаций.

ОФОРМЛЕНИЕ ЭИС О НАПРАВЛЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА СОГЛАСОВАНИЕ ВО ВНЕШНЮЮ ОРГАНИЗАЦИЮ

По каждому проекту судна разрабатываются тысячи конструкторских документов, и большинство из них требует согласования с несколькими внешними организациями. Поэтому параллельно с потоками электронных файлов ТД возникают потоки файлов сопроводительных документов. Традиционно таким

Текст уведомления		Позиции
Директору производства		1
АО «Судостроительный завод»		2
Иванову И.И.		3
E-mail: production@sz.ru		4
УВЕДОМЛЕНИЕ		
<u>о представлении на согласование технической документации</u>		
<u>по проекту 28600, разработанной АО «КБС»</u>		5
<u>от 28.02.2023 г.</u>	<u>№ 40/28600-354э</u>	6, 7
<u>Уважаемый Иван Иванович!</u>		8
<u>Направляем на согласование техническую документацию</u>		
28600.362541.029	Система вентиляции. Трубопроводы. 3 стр. р-н. Спецификация.	9, 10
28600.362541.029СБ	Система вентиляции. Трубопроводы. 3 стр. р-н. Сборочный чертеж.	9, 10
<u>Файлы технической документации выложены на ftp-сервер IP 12.345.678.98:7000 в директорию «2023.02.28».</u>		11 12
<u>С уважением, начальник 40 отдела Петров Петр Петрович</u>		13
<u>Исполнитель: Николаев Николай Николаевич, тел. 8(123)456-78-90</u>		14

Рис. 2. Структура электронного «Уведомления» о направлении технической документации на согласование во внешнюю организацию. Подчеркнутые фрагменты – неизменяемая часть электронного бланка. Изменяемые позиции представлены в табл. 1.

документом является письмо, которое исполнитель оформляет в электронном виде, в большинстве случаев внося в него всю необходимую информацию вручную. Далее следует распечатка письма, процедура поэтапного визирования и подписания должностными лицами, регистрация в канцелярии, перевод письма в электронную форму и отправка файла письма адресату по электронной почте вместе с файлами согласуемой ТД. Количество должностных лиц, задействованных в подготовке сопроводительного письма, может достигать пяти-шести человек: исполнитель, начальник производственного сектора, начальник отдела, главный конструктор проекта судна и сотрудники канцелярии. Оптимизация операции отправки ТД на согласование во внешние организации, выполненная на базе принципов СЭИЛ [1], позволяет существенно снизить ее трудоемкость.

В соответствии с принципом «исключения бумажных носителей информации» СЭИЛ [1] необходимо все действия по оформлению и согласованию сопроводительных писем выполнять только в электронной форме. Руководствуясь принципом «минимальной достаточности» СЭИЛ [1], необходимо сократить количество визирований каждого сопроводительного письма. Разработанная ТД, направляемая на согласование во внешние организации, прошла полный цикл согласования внутри КБС и уже имеет визы и подписи всех соот-

ветствующих должностных лиц. Следовательно, оформляемые к ней сопроводительные письма будут выполнять не административно-правовую функцию, а всего лишь *уведомительную*. Поэтому статус сопроводительного документа может быть снижен с уровня «Письма» до уровня «Уведомления» (рис. 2). Должностной уровень подписанта «Уведомления» также может быть снижен, например, до уровня руководителя производственного подразделения. К тому же статус «Уведомления» не предполагает обязательного наличия «живой» («ручной») подписи. При отсутствии в КБС практики использования электронных цифровых подписей будет достаточно указать фамилию руководителя подразделения, представляющего ТД на согласование. В качестве рекомендации можно предложить не оставлять в тексте «Уведомления» промежуток между наименованием должности руководителя производственного подразделения и фамилией (рис. 2, п. 13), чтобы избежать у адресата впечатления «неподписанного» документа. Структура «Уведомления» может быть согласована протоколом между КБС и участвующей в проектировании внешней организацией.

Принцип «минимальных действий» СЭИЛ [1] требует сократить количество «ручных» операций, выполняемых исполнителем при оформлении «Уведомления». Этому может способствовать предварительно созданная электронная база реквизитов и элементов, которые

Источники формирования реквизитов и элементов «Уведомления» о направлении технической документации на согласование во внешнюю организацию

Реквизиты и элементы «Уведомления» (рис. 2)		Источники для формирования реквизитов и элементов «Уведомления»
Позиция	Изменяемый реквизит, элемент	
1	2	3
-	Электронный шаблон «Уведомления» с неизменяемыми фрагментами текста	Выбирается исполнителем из базы данных программы по виду информационного сообщения – «Уведомление»
1	Наименование должности адресата	Вносится автоматически из базы данных по выбранному наименованию внешней организации
2	Наименование внешней организации, в которую направляется на согласование техническая документация	Выбирается исполнителем «Уведомления» из базы данных
3	Фамилия и инициалы должностного лица, которому направляются на согласование техническая документация	Вносится автоматически из базы данных по выбранному наименованию внешней организации
4	Электронный адрес должностного лица, которому направляется «Уведомление» о представлении технической документации на согласование	То же
5	Номер проекта судна в наименовании «Уведомления»	Вносится автоматически из обозначения прикрепленных файлов технической документации
6	Дата отправки «Уведомления»	Вносится автоматически из компьютера, текущая дата
7	Исходящий номер «Уведомления» 40/28600-371э: 40 – номер производственного подразделения исполнителя «Уведомления»; 28600 – номер проекта судна; 371 - порядковый номер сопроводительного документа	Вносится автоматически: 40 – по логину исполнителя «Уведомления»; 28600 – по обозначению приложенных к «Уведомлению» файлов технических документов, направляемых на согласование; 371 – из электронного счетчика сквозной нумерации «Уведомлений»
8	Имя и отчество в обращении к должностному лицу, которому направляется на согласование техническая документация	Вносится автоматически из базы данных по выбранному наименованию внешней организации
9	Обозначение технических документов, направляемых на согласование	Вносится автоматически по обозначению приложенного к «Уведомлению» файла технического документа
10	Наименование технического документа, направляемого на согласование	Вносится автоматически из базы электронного архива по обозначению приложенного к «Уведомлению» файла технического документа
11	Электронный IP-адрес ftp-сервера внешней организации, на который отправляются файлы технической документации для согласования.	Вносится автоматически из базы данных по выбранному наименованию внешней организации
12	Электронный адрес электронной папки на ftp-сервере внешней организации, в которую выкладываются файлы технических документов, направленных на согласование.	Вносится автоматически, например, наименование папки присваивается по текущей дате.
13	Наименование должности и ФИО руководителя производственного подразделения, сотрудником которого является исполнитель «Уведомления».	Вносится автоматически из базы данных по логину исполнителя «Уведомления»
14	ФИО и контактные данные исполнителя «Уведомления»	Вносится автоматически из базы данных по логину исполнителя «Уведомления»

должны отображаться в тексте «Уведомления» (табл. 1, колонка 2). Наличие такой электронной базы, а также программы, в которой будет формироваться «Уведомление», позволяет значительно сократить количество «ручных» операций исполнителя: а) выбрать в диалоговом окне вид создаваемого электронного документа – «Уведомление»; б) выбрать наименование организации, в которую ТД направляется на согласование; в) вложить в «Уведомление» файлы согласуемой ТД. Все остальные реквизиты и элементы будут внесены в текст «Уведомления» автоматически (табл. 1, колонка 3).

После команды «отправить» «Уведомление» вместе с приложенными файлами будет отослано по электронной почте во внешнюю организацию и

сохранено в электронном архиве КБС. Стадии визирования и регистрации «Уведомления» исключаются полностью. Таким образом, в подготовке и отправке «Уведомления» о представлении ТД на согласование оказывается задействованным только один сотрудник КБС – исполнитель ТД.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТИПОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К РАБОЧИМ КОНСТРУКТОРСКИМ ДОКУМЕНТАМ СУДОВЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Графическая ТД помимо изображения изделия может содержать текстовую часть – технические требования [2, п. 4.1], которые регламентируют порядок выполнения работ по ТД. Количество позиций технических требований,

указываемых в ТД рабочего проекта, в частности судовой трубопроводной системы, может достигать нескольких десятков. Это обстоятельство порой становится причиной пропуска требуемых позиций вследствие невнимательности исполнителя и проверяющих должностных лиц, что влечет необходимость последующего исправления ТД. Минимизировать негативное влияние человеческого фактора на качество разрабатываемой ТД можно, выстраивая работу на принципах функционирования системы электронной информационной логистики [1].

Номенклатура технических требований, указываемых в ТД, диктуется особенностью каждой судовой системы, спецификой судна, на котором она установлена, а также особенностями тех-

нологии выполнения работ на конкретном судостроительном предприятии. В то же время анализ значительного количества ТД рабочих проектов разных судов и разных судовых трубопроводных систем показывает, что, несмотря на разнообразие видов рабочих сред (пресная и забортная вода, водяной пар, органическое топливо, сжатый воздух, пр.) и условий работы систем (под давлением, под вакуумом, при высоких температурах, пр.), технические требования в ТД этих систем в значительной степени повторяются, а их количество носит конечный характер – порядка восьмидесяти. Этот факт дает возможность на базе ранее разработанной ТД судовых трубопроводных систем, руководствуясь принципом «универсального шаблона» СЭИЛ [1], разработать «Типовые технические требования» (ТТТ) – полный перечень таких требований к ТД рабочего проекта любых судовых трубопроводных систем. В соответствии с принципом «доминирования адресата» СЭИЛ [1], номенклатуру и формулировки позиций ТТТ перед началом проектирования целесообразно согласовать с судостроительным заводом.

ТТТ рекомендуется оформлять в виде таблицы (табл. 2) в формате файла графического редактора, используемого в КБС для разработки графических документов. Шрифт и ширина строк текста в колонке 1 (табл. 2) должны соответствовать формату поля, предна-

значенного для размещения в ТД текста технических требований [2, п. 4.10]. Формулировки пунктов ТТТ, в которые предполагается вносить уточнения при разработке ТД, должны соответствовать принципу «минимальных предстоящих изменений» СЭИЛ [1] – в них должны оставаться вакантными позиции, заполняемые с учетом особенностей конкретной судовой трубопроводной системы (табл. 2, колонка 1, поз. а, б, в). Последовательность позиций ТТТ (табл. 2, колонка 1) должна соответствовать ГОСТ [2, п. 4.12]. Во второй колонке (табл. 2) рекомендуется расположить справочную информацию для разработчика чертежа. В соответствии с принципом «короткого маршрута» СЭИЛ [1] файл ТТТ должен быть размещен в электронной сети КБС и быть доступен всем разработчикам чертежей судовых трубопроводных систем.

Первым этапом преобразования ТТТ в технические требования ТД рабочего проекта конкретной судовой трубопроводной системы является копирование ТТТ из файла универсального шаблона в файл разрабатываемого графического документа. Второй этап – удаление из ТТТ лишних строк, т.е. технических требований, избыточных для ТД конкретной системы. Третий этап – заполнение вакантных позиций в формулировках технических требований с учетом особенностей конкретной системы (табл. 2, колонка 1, пробелы в поз. а, б, в). Четвер-

тый этап – удаление из ТТТ колонки 2. Пятый этап – сквозная нумерация [2, п. 4.13] оставшихся позиций технических требований.

С большой вероятностью можно утверждать, что первоначально разработанные ТТТ не будут исчерпывающими. При очередной ТД рабочего проекта может возникнуть потребность в дополнительных технических требованиях, отсутствующих в ТТТ. Новые технические требования рекомендуется вносить в разрабатываемую ТД следом за последней позицией ТТТ. В частности, практически в каждом рабочем чертеже судовых трубопроводных систем в технических требованиях есть позиция «*размеры для справок» (табл. 2, поз. г), которую можно располагать последней и рассматривать как своеобразную «черту», отделяющую позиции ТТТ от новых, дополнительно вносимых требований. Такой вариант дополнения в ТД недостающих технических требований можно считать приемлемым, так как порядок группировки технических требований в ГОСТ носит рекомендательный характер [2, п. 4.12]. Но этот вариант дает возможность при периодическом (например, ежеквартальном) анализе выпущенных документов рабочего проекта быстро выявлять ранее отсутствовавшие технические требования и вносить их в ТТТ, тем самым повышая универсальность шаблона ТТТ. Аналогичные ТТТ могут быть разработаны и

Таблица 2

Фрагмент Типовых технических требований технической документации рабочего проекта судовых трубопроводных систем

Формулировка позиции технических требований	Комментарии	Позиции
1	2	3
.....	
По типу и параметрам проводимой среды трубопровод системы относится к ___ классу по Правилам РС.	Если отдельные участки системы относятся к разным классам по Правилам РС, то необходимо указать границы участков и соответствующий им класс: «...трубы поз. __ – к 3 классу, трубы поз. __ – к 4 классу».	а
.....	
Контроль сварных соединений трубопроводов на герметичность проводить в соответствии с ОСТ____, класс герметичности ____.	Для участков системы с разными требованиями по герметичности конкретизировать: «класс герметичности для позиций ____ – 4, для поз. ____ – 5».	б
.....	
Сборку трубопроводов позиции _____ осуществлять по инструкции поставщика и с применением инструмента входящего в комплект поставки.	Для труб, у которых особенности монтажа регламентированы дополнительными требованиями фирмы-изготовителя.	в
.....	
Установить спускные пробки на трубах в местах возможного скопления конденсата.	Для воздухопроводов систем вентиляции.	
.....	
На импульсных трубах к манометрам и мановакууметрам выполнить компенсационные кольца	При наличии в составе системы средств контроля	
.....	
После монтажа труб на все открытые концы установить технологические заглушки.	Для предотвращения попадания в трубы посторонних предметов после монтажа на заказе.	
.....	
* размеры для справок		г

для других групп однотипной ТД как рабочего, так и технического проекта: корпусных чертежей, чертежей электроэнергетической системы, пр.

Использование ТТТ повышает качество выпускаемой ТД, поскольку минимизирует фактор «забывчивости» исполнителя при оформлении технических требований и позволяет реализовать принцип «единой структуры» СЭИЛ [1] в части оформления технических требований однотипных ТД.

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОВЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ ОТСУТСТВИИ ЧАСТИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Разработка 3D-модели судна может быть начата при отсутствии некоторых исходных данных, в частности, габаритных размеров оборудования, приобретаемого для строящегося судна по результатам тендера. В этих случаях 3D-моделирование должно выполняться в соответствии с принципом «минимальных предстоящих изменений» СЭИЛ [1]. С этой целью в тендерной документации на поставку судового оборудования должны быть указаны *предельно допустимые* габариты оборудования из ряда однотипных образцов, представленных на рынке. Именно по этим предельно допустимым габаритам должна создаваться 3D-модель оборудования, которая будет использоваться при разработке 3D-модели судна. Таким образом в 3D-модели судна будет зарезервирован объем пространства под любое однотипное оборудование, которое может быть применено на данном проекте.

В частности, при проектировании судовых трубопроводных систем габариты арматуры являются критически важным параметром: межфланцевая длина арматуры (рис. 3, а) определяет конфигурацию подключаемых к ней трубопроводов, а высота и ширина арматуры, включая размеры рабочей и эксплуатационной зоны, накладывают ограничение на расположение смежных систем и оборудования. Так как межфланцевая длина арматуры до завершения тендерных процедур остается неизвестной, то конструктивным элементом, который должен компенсировать этот варьируемый линейный размер, должна выступать забойная труба (рис. 3). Для предельной межфланцевой длины арматуры длина забойной трубы должна быть минимально допустимой с точки зрения технологичности изготовления и

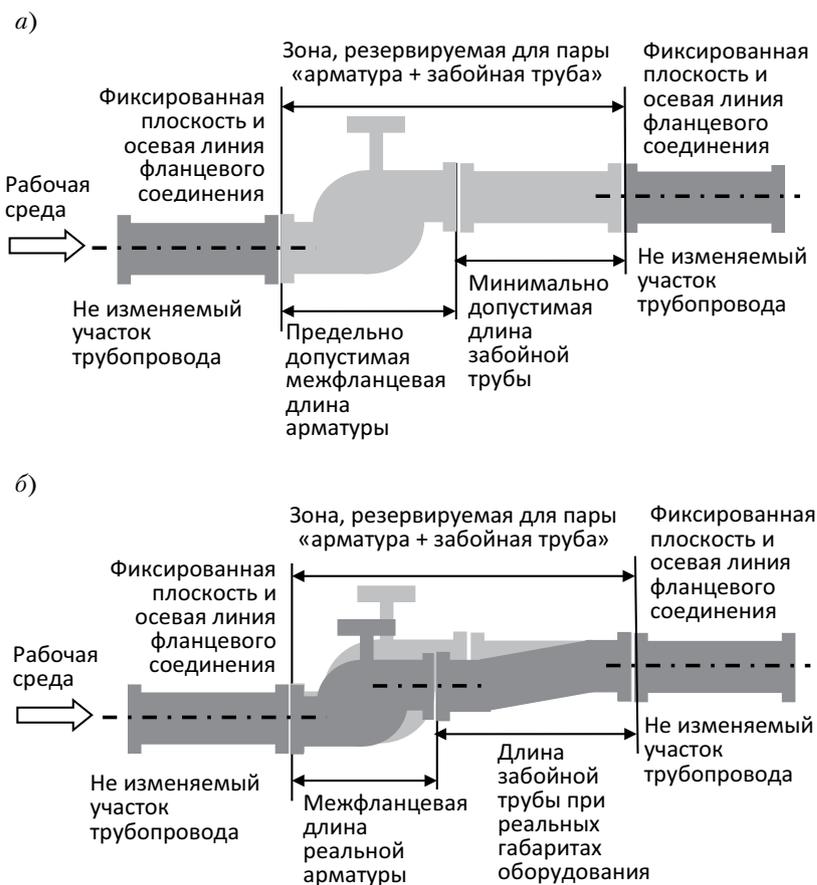


Рис. 3. 3D-моделирование судовой трубопроводной системы при отсутствии и получении исходных данных о габаритах оборудования: а – разработка 3D-модели при отсутствии исходных данных о габаритах оборудования; б – доработка 3D-модели при получении окончательных исходных данных о габаритах оборудования

монтажа на судне (рис. 3, а). Суммарная длина участка «арматура+забойная труба» в 3D-модели будет зоной, которая должна оставаться постоянной. Постоянными также должны остаться координаты плоскостей фланцев и осевых линий трубопроводов, подключаемых к арматуре.

При применении на проекте судна арматуры с меньшей межфланцевой длиной размеры и координаты расположения подключаемых эскизных труб в 3D-модели остаются неизменными, а форма и габариты забойной трубы компенсируют изменение линейного размера арматуры (рис. 3, б). Габариты зарезервированного в 3D-модели пространства под предельно допустимую рабочую и эксплуатационную зону позволят исключить коллизии оборудования со смежными системами. Таким образом, по завершении тендерных процедур и получении полных исходных данных о применяемой арматуре минимизируется

объем ожидаемых изменений 3D-модели как самой судовой трубопроводной системы, так и сложных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принципы функционирования системы электронной информационной системы могут служить универсальным инструментом при поиске путей повышения эффективности технологических операций производственного процесса КБС и способствовать повышению качества и снижению трудоемкости разрабатываемой технической документации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорогов Ю.В., Ионов Б.Л. Основные понятия и принципы функционирования системы электронной информационной логистики конструкторского бюро судостроения // Морской вестник. – 2022. – №4(84).
2. ГОСТ 2.316–2008. ЕСКД. Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах. Общие положения. ■

24 декабря 2022 г. скоропостижно скончался генеральный директор АО «Адмиралтейские верфи» Александр Сергеевич Бузаков. Вся его трудовая деятельность была связана со строительством судов и кораблей. В 1980 г. он окончил Ленинградский кораблестроительный институт по специальности «Судовые силовые установки» с присвоением квалификации инженера-механика. Сразу после получения диплома А. С. Бузаков начал работать в Ленинградском Адмиралтейском объединении, старейшем судостроительном предприятии города, занимая должности от инженера-технолога до главного инженера. С каждой пройденной ступенью накапливался его профессиональный и организаторский опыт, углублялось понимание внутренней жизни завода.

С 2004 по 2009 г. Александр Сергеевич Бузаков последовательно возглавлял ОАО «Судостроительный завод «Северная верфь», ОАО «Западный центр судостроения», работал во ФГУП «Средне-Невский судостроительный завод». В июле 2011 г. он вернулся в АО «Адмиралтейские верфи» на должность главного инженера, а уже в августе был назначен генеральным директором предприятия. За 11 лет под руководством А. С. Бузакова верфи добились успеха в выполнении производственных программ и получении новых контрактов на строительство судов и кораблей. Основным достижением объединения под руководством А. С. Бузакова стало сохранение и укрепление позиций на рынке современных неатомных подводных лодок, надводных кораблей и глубоководной техники. Большое внимание он уделял стратегическому развитию предприятия и поиску новых направлений деятельности. Не менее важен вклад генерального директора в его техническое и социально-экономическое развитие.

ПАМЯТИ А.С. БУЗАКОВА



За более чем 40-летний стаж работы при непосредственном участии и под руководством А. С. Бузакова построены и сданы в эксплуатацию десятки подводных и надводных кораблей, а также гражданских судов различного класса и назначения, в том числе не имеющие аналогов в отечественном и мировом судостроении. Профессиональный подход к делу, умение компетентно и грамотно принимать ответственные решения и обеспечить их выполнение отличали А. С. Бузакова как руководителя высочайшего уровня, волевого и требовательного к себе и подчиненным, снискали действительно заслуженное уважение.

Возглавляя крупнейшие судостроительные предприятия Петербурга, А. С. Бузаков через всю свою жизнь пронес преданность профессии, стремился быть полезным своей стране, укреплять ее безопасность и обороноспособность. Талантливый

корабел, волевой и требовательный к себе и подчиненным руководитель, он снискал заслуженный авторитет и уважение коллег, друзей, учеников, руководителей отрасли и военно-морского флота.

За многолетний и самоотверженный труд Александр Сергеевич Бузаков награжден орденом «За морские заслуги», медалями ордена «За заслуги перед Отечеством» I и II степени, медалями «300 лет Российскому флоту» и «В память 300-летия Санкт-Петербурга». А. С. Бузаков – лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

Большой личный вклад внес Александр Сергеевич в развитие и деятельность Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, активным членом Президиума и Центрального правления которого он был много лет.

Уход из жизни заслуженного адмиралтейца А. С. Бузакова стал невосполнимой утратой для всех, кто его знал, кто трудился рядом с ним, для всего трудового коллектива «Адмиралтейских верфей». Светлая память об Александре Сергеевиче Бузакове навсегда останется в их сердцах.

Редакционный совет, редакционная коллегия и редакция журнала «Морской вестник», Президиум и Центральное правление «Российского научно-технического общества судостроителей им. акад. А. Н. Крылова» выражают глубочайшее соболезнование его родным и друзьям в связи с кончиной А. С. Бузакова и выражают уверенность в том, что дело, в которое он вкладывал все силы и знания, обязательно будет продолжено его коллегами и учениками. ■



Подготовка поверхности корпусных конструкций – важный этап строительства кораблей и судов. Лазерная очистка поверхности – это процесс, в котором используется лазерная энергия для удаления ржавчины, окалины и других загрязнений с поверхности корпуса судна перед покраской. Этот процесс имеет много преимуществ перед традиционными методами подготовки поверхности, такими как пескоструйная и химическая очистка.

Лазерная очистка поверхности имеет ряд преимуществ, одними из основных являются ее скорость и эффективность. Лазеры могут быстро и точно очистить большие участки поверхности, сокращая время и затраты на процесс подготовки поверхности. Кроме того, лазеры могут эффективно удалять даже самые стойкие загрязнения, такие как ржавчина и старая краска, не повреждая очищаемую поверхность. В результате получается гораздо более чистая поверхность, которая лучше подготовлена к нанесению лакокрасочных покрытий (ЛКП).

В отличие от абразивных методов очистки, лазеры не производят опасных отходов и не создают пыли, которая может быть вредна для работников. Кроме того, лазерная очистка – это сухой процесс, поэтому нет необходимости в воде или растворителях, которые могут привести к загрязнению окружающей среды. Принцип действия лазера показан на рис. 1.



Рис. 1. Принцип действия лазерной очистки [4]

Лазерная очистка поверхности также обеспечивает более высокую точность по сравнению с ручными методами очистки или абразивной очисткой. Лазерный луч можно контролировать, чтобы точно направить его на конкретные участки, обеспечив тщательную и последовательную очистку.

ЛАЗЕРНАЯ ОЧИСТКА И ЗАЩИТА КОРПУСОВ СУДОВ И КОРАБЛЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

Е.В. Богданов, зам. главного инженера,
К.О. Будников, вед. инженер-технолог, аспирант СПбГМТУ,
АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. (812) 714 8502

Наиболее значительным преимуществом лазерной очистки поверхности является ее способность очищать поверхность, не повреждая их. Лазерная энергия фокусируется на очищаемой области, что приводит к удалению загрязнений без повреждения очищаемого материала. Кроме того, лазерная очистка поверхности может использоваться как на черных, так и на цветных металлах, что делает ее пригодной для применения в широком спектре материалов, используемых в судостроении.

Процесс лазерной очистки поверхности не требует длительной подготовки и может быть выполнен быстро с минимальным влиянием на выполнение смежных работ, происходящих на строящемся заказе. Кроме того, поскольку лазерная энергия не генерирует тепла или искр, нет никаких проблем с безопасностью, связанных с ее использованием в замкнутых пространствах или вблизи легковоспламеняющихся материалов.

В АО «Адмиралтейские верфи» были проведены испытания лазерного оборудования для очистки поверхностей и их дальнейшей подготовки под окраску на строящемся заказе на плаву. В ходе этих испытаний были выполнены:

- локальная очистка подволока на траловой палубе в труднодоступном месте;
- устранены точечные прожоги на переборке на траловой палубе;
- очищены листы нержавеющей стали.

Результат очистки прожога на переборке открытой палубы диаметром ок. 55 мм и толщиной покрытия 255 мкм до слоя металлизации представлен на рис. 2.

Лазерная очистка поверхности дает превосходные результаты по сравнению с традиционными методами подготовки поверхности. В ходе этого процесса происходит более эффективное удаление загрязнения, чем при пескоструйной или механической очистке, в результате чего получается по-

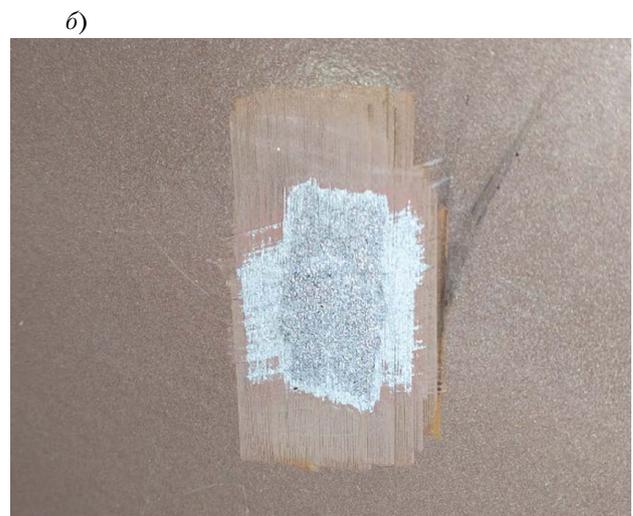


Рис. 2. Результат очистки прожога на грунтованной поверхности: а – до очистки, б – после очистки

верхность, которая обеспечивает лучшую адгезию для ЛКП и других покрытий. Улучшенная адгезия гарантирует, что покрытия прослужат дольше и обеспечат лучшую защиту от коррозии и других факторов окружающей среды. Результат удаления ржавчины с поверхности показан на рис. 3.

Несмотря на то, что лазерная очистка поверхности имеет множество преимуществ, она не лишена недостатков. Одними из основных являются стоимость оборудования и его хрупкость. Лазеры могут быть дорогими в приобретении и обслуживании, а операторы должны быть должным образом обучены, чтобы безопасно и эффективно выполнять очистку.

Применение металлизационных протекторных покрытий (МПП) методом электродуговой металлизации является одним из методов повышения коррозионной стойкости.

Электродуговая металлизация представляет собой процесс нанесения металлических покрытий на корпус судна с помощью тепла и давления. Он включает в себя нагревание металлического материала, такого как цинк, алюминий или нержавеющая сталь, до высокой температуры, пока он не перейдет в расплавленное состояние. Затем расплавленный металл наносится на поверхность корпуса судна, создавая слой металла, который защищает от коррозии.

Металлическое покрытие действует как барьер между основным металлом и коррозионными элементами, такими как соленая вода и загрязнители воздуха. Это снижает риск коррозии, которая может ослабить структуру корпуса судна и сократить срок его службы.

Металлизация особенно полезна для судов, которые работают в суровых морских условиях, где риск коррозии выше. Так, в воде при нормальной температуре покрытие цинка хорошо защищает сталь от коррозии, так как с течением времени защитные свойства цинкового покрытия повышаются. Цинк является по отношению к железу анодным покрытием, создающим катодную защиту. Но разрушение этого покрытия в электролите происходит недолго,

так как цинк покрывается плотным слоем окиси карбоната или гидроокиси цинка. Продукты коррозии быстро заполняют поры покрытия, тем самым полностью прекращая доступ кислорода к основному металлу, а, следовательно, и электрохимическое корродирование. Таким образом, пористость цинковых, а также алюминиевых и кадмиевых покрытий мало влияет на эффективность защиты стали.

Следующий этап по защите – уплотнение получившегося слоя. Это наиболее простой и доступный способ устранения пористости и повышения срока службы металлизационных покрытий. Металлическое покрытие обладает высокой адгезией, обеспечивая прочное сцепление с основным металлом, устойчивым к истиранию и ударам. Это продлевает срок службы судна и снижает необходимость в ремонте и обслуживании.

Шероховатость и пористость металлизационного слоя делает его прекрасным грунтом для дополнительного нанесения лакокрасочного или другого покрытия (табл. 1). Цинковые покрытия коррозионно-устойчивы в условиях воздействия атмосферы, морской и речной воды. В незагрязненном воздухе слой цинка толщиной 100 мкм может защитить сталь от коррозии в течение 30–40 лет. В морской атмосфере для этой цели требуются покрытия толщиной 200 мкм и более.

Зарубежной практикой установлено, что конструкции, рассчитанные на срок службы более 20 лет, целесообразно непосредственно после металлизации для предохранения

Таблица 1

Параметры шероховатости поверхности основного металла по ГОСТ 2789–73

Материал покрытия	Толщина покрытия, мкм				Параметры шероховатости, мкм	
	От	40	До	120	6,3–10,0	25–40
Цинк	Св.	120	«	200	10,0–12,5	40–50
	От	60	«	120	8,0–12,5	32–50
Алюминий	Св.	120	«	200	10,0–12,5	40–50
	«	200	«	300	12,5–16,0	50–63



Рис. 3. Результат удаления ржавчины с поверхности [4]

от коррозии окрашивать по чистой и сухой поверхности. Коррозия цинка под слоем краски протекает значительно медленнее, а длительность службы краски на покрытиях в среднем удваивается, так как цинковое покрытие вместе с окраской препятствует образованию ржавчины, которая, набухая, могла бы оторвать защитный слой краски.

В табл. 2 приведены значения минимальных толщин покрытий различных видов для обеспечения защиты на необходимый период. Так, рекомендуемая минимальная толщина покрытия цинком для пресной мягкой воды – 160 мкм при условии дополнительной защиты двумя и более слоями ЛКП, что гарантирует срок защиты более 10 лет. При толщине покрытия 250 мкм с последующей обработкой срок защиты достигает 50 лет. Для морской воды рекомендуется сплав цинк–алюминий (85% цинка) толщиной от 120 мкм с последующей обработкой в два слоя и более лакокрасочными материалами.

Таблица 2

Рекомендуемые минимальные толщины покрытий для работы изделия в условиях переменного или постоянного погружения в различные среды по ГОСТ 9.304–87

Рабочая среда	Вид покрытия	Минимальная толщина, мкм, при сроке защиты, лет		
		10	30	50
Пресная мягкая вода	Алюминий	160*	200*	250*
	Алюминий	120**	160**	200**
	Алюминий***	80**	120**	160**
	Цинк	160**	200**	250**
Пресная жесткая вода	Алюминий	160**	200**	250**
	Алюминий	120**	160**	200**
	Цинк	160*	200*	250*
	Цинк	120**	160**	200**
Морская вода	Алюминий	160**	200**	250**
	Алюминий	120**	160**	200**
	Сплав цинк–алюминий (цинк 85% вес.)	120**	160**	200**

* При дополнительной защите одним слоем ЛКП

** При дополнительной защите двумя и более слоями ЛКП

*** При электродуговом напылении

Согласно ГОСТ 9.304–87, РД ГМ-01–02 и другим нормативным документам долговечность антикоррозионной защиты в морской среде достигает 30 лет и более. Для этого рекомендуется применять покрытия цинка и алюминия, наносимые электродуговым или газопламенным способом в сочетании с ЛКП.

Восстановить ЛКП по металлизационному слою значительно проще, чем проводить повторную окраску нематериализованной поверхности. Требуется лишь предварительно удалить с поверхности изделия слой старой краски обдувкой сжатым воздухом. Предварительной химической обработки при этом не требуется. Если же стальные конструкции только окрашивать, то краска при плохой подготовке поверхности быстро разрушается из-за отрыва ее от основной поверхности вследствие коррозии.

Применяя МПП, способствующие увеличению срока защиты от коррозии, необходимо рассмотреть возможность уменьшения коррозионной надбавки на коррозион-

ный износ, это должно уменьшить толщину и массу применяемого металла при проектировании и сделает морской объект легче, что приведет к экономии материальных ресурсов при строительстве и эксплуатации.

Несмотря на свои преимущества, металлизация также имеет некоторые минусы. Процесс может быть дорогостоящим, а для его проведения требуются специализированное оборудование и обученный персонал. В процессе работы образуются пары и частицы, вредные для окружающей среды, поэтому важно обеспечить соответствующие меры безопасности для защиты как работников, так и окружающей среды.

Металлизация распылением с помощью газопламенных и электродуговых металлизаторов создает такую же опасность, как газовая и электродуговая сварки. Кроме того, все виды металлизации, за исключением газопламенной, сопровождаются сильным шумом, что требует применения индивидуальных средств защиты слуха.

Большие трудности вызывает борьба с пылью, состоящей из частиц металлов и оксидов металлов, в больших количествах образующейся при металлизации распылением и вызывающей легочные заболевания. Допускаемые очень низкие показатели предельно допустимой концентрации (по стандарту TGL 32 600/11) для алюминия, Al_2O_3 и Fe_2O_3 составляют, например, 10, для Ni – 0,5 и для CuO – 0,3 мг/м³. По этой причине требуется обязательное применение эффективной вытяжной вентиляции или индивидуальной защиты с помощью кислородных масок.

В заключение следует отметить, что использование лазерной очистки поверхности для окраски в судостроении дает множество преимуществ. К основным ее преимуществам относятся, как уже было сказано, ее скорость и эффективность, отсутствие опасных отходов или пыли, высокая точность, возможность очистки без повреждения поверхности и превосходные результаты по сравнению с традиционными методами. Основной же недостаток – высокая стоимость необходимого оборудования.

Металлизация корпусов судов и кораблей является эффективной технологией защиты от коррозии в судостроении. Хотя она имеет свои недостатки, но создает защитный слой металла, который может продлить срок службы судна и повысить его устойчивость к коррозии. В сочетании с лазерной очисткой поверхности МПП может стать комплексным решением подготовки поверхностей судов и защиты от коррозии в судостроении.

Нанесение поверх металлического слоя химически стойких полимерных покрытий позволяет получать защитные системы, стойкие в средах с повышенным содержанием агрессивных веществ. Металлический слой играет роль протекторной защиты металла подложки, а полимерное покрытие способствует повышению плотности покрытия. Металлический слой в комбинированном покрытии вследствие пористости и шероховатости обеспечивает максимальную адгезию лакокрасочных материалов, значительно повышая тем самым их долговечность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елагина О. Ю., Бурякин А. В., Жук В. В. Особенности применения протекторных металлизационных покрытий для коррозионной защиты металлоконструкций, работающих в морской среде // Территория нефтегаза. – 2016. – № 11. – С. 70–75
2. ГОСТ 9.304–87. Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля.
3. ГОСТ 28844–90. Покрытия газотермические упрочняющие и восстанавливающие. Общие требования.
4. Лазерная очистка металла: принцип, характеристики и применение. – url: <https://www.stankoff.ru/blog/post/524> ■

Модули распределения электроэнергии. Корабельная распределительная система (SSDS – *Ship Service Distribution System*) должна отличаться высокой гибкостью, надежностью и живучестью и обеспечивать всех потребителей электроэнергией высокого качества. В состав такой системы входят модули распределения электроэнергии, основу которых составляют компактные мощные модульные переключатели (силовые исполнительные механизмы), созданные в рамках программы ВМС США РЕВВ (*Power Electronic Building Block*).

ОЭЭС предполагает гибкую систему распределения электроэнергии в зависимости от тактической обстановки. Например, при развитии полного хода большая ее часть пойдет на ГЭД, при уменьшении нагрузок (на средних и малых скоростях хода) ГТГ будут вырабатывать электроэнергию с «излишком», что предоставляет возможность для использования новых энергоемких систем вооружения, разработка которых в настоящее время ведется за рубежом. Основные режимы работы ОЭЭС ЭМ УРО пр. DD(X) и распределение нагрузки по потребителям представлены в табл. 2.

Модули преобразователей электроэнергии. ОЭЭС ЭМ УРО пр. DD (X) является полностью автоматизированной системой с зональным распределением электроэнергии. В ней используются твердотельные модули преобразователей переменного тока в электроэнергию постоянного тока с такими характеристиками, которые требуются для питания общекорабельных потребителей или потребителей конкретной зоны корабля.

Серийные модули для ОЭЭС перспективных кораблей будет поставлять компания Satcon Technology Corporation, специализирующаяся на выпуске электронных инвертеров мощностью от 5 кВт до 5 МВт и распределительных щитов, а также микросхем промышленного, медицинского, военного и авиакосмического назначения.

Основные режимы работы ЭУ ЭМ УРО пр. DD(X) и распределение нагрузки по потребителям Таблица 2

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

* Окончание. Начало см. «Морской вестник», 2022, №4 (84)

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОДВИЖЕНИЯ НА ПЕРСПЕКТИВНЫХ БОЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЯХ ЧАСТЬ 2*

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

П.Г. Печковский, канд. техн. наук, зам. ген. директора по науке и развитию АО «Корпорация морского приборостроения»,

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

Модули гребных электродвигателей. На ЭМ УРО пр. DD (1000) и пр. DD (1001) используются асинхронные 15-фазные ГЭД фирмы Alstom мощностью 4×17,3 МВт по аналогии с ГЭД, которые используются на британских эсминцах HMS «Daring» и авианосцах типа HMS «Queen Elizabeth» с ограничением мощности до 17,3 МВт.

По оценкам американских специалистов [2, 3], еще на начальном этапе проектирования корабля в качестве модулей ГЭД на ЭМ УРО пр. DD(X) предполагалось использование электродвигателей на высокотемпературной сверхпроводимости. Такой двигатель мощностью 36,5 МВт с частотой вращения ротора 120 об/мин, разработанный компанией American Superconductor, находится в производстве. Его общая масса (включая системы охлаждения обмоток ротора и статора) составляет 75 т (удельная масса – 2 кг/кВт), что практически в 5 раз меньше, чем масса асинхронного двигателя с обмотками, изготовленными из меди. Однако до сих пор решение об использовании такого ГЭД даже на третьем, т.е. последнем, корабле указанной серии, не принято, что очевидно сопряжено со структурными усложнениями и без того сложной системы электродвижения.

Таким образом, последние достижения зарубежной науки и техники в XXI в. позволяют создавать корабельную ЭУ нового поколения – ОЭЭС, которая может символизировать переход на новый этап ее развития. Внедрение в производство перспективных технологий позволит и дальше качественно улучшать ее параметры, повышая тем самым энергонасыщенность боевых кораблей будущего [2 – 6].

Тем не менее утверждения о том, что такая КЭУ по сравнению с традиционными ЭУ с прямотоковыми приводами уже на начальной стадии развития обладает меньшими массогабаритными характеристиками, более высокой надежностью, живучестью и экономичностью, а также низким уровнем акустического и теплового полей [2 – 6], носят, скорее, декларативный характер. На самом деле, как показывает опыт проектирования и эксплуатации таких систем, все обстоит с точностью до наоборот.

Незирая на существенные достижения зарубежных энергомашиностроителей в области разработки и создания корабельных ЭУ с полным электродвижением, практика эксплуатации таких кораблей выявила множество проблем, которые ставят под сомнение саму концепцию использования ОЭЭС на боевых надводных кораблях.

Осознавая безальтернативность использования электродвижения на поисковых режимах ПЛО, которые осуществляются на относительно невысоких скоростях хода (как правило, на 8–12 уз), конструкторы приходят к выводу, что на скоростях хода, превышающих указанный диапазон при решении кораблями других задач, система полного электродвижения становится мало приспособленной прежде всего из-за ее низких надежности (безотказности, в частности) и живучести. Кроме того, при работе системы частотного регулирования ГЭД возникают высокочастотные и низкочастотные гармоники в электрической сети, которые создают серьезные помехи работе электрического и радиоэлектронного оборудования всего корабля, для лока-

лизации которых требуется установка специальных фильтров гармоник.

Примеров, подтверждающих данные утверждения, предостаточно.

Еще самый ранний опыт боевого использования систем электродвижения на авианосце ВМС США «Saratoga» (CV-3) (рис. 10), свидетельствует о недостаточной высокой живучести таких турбоэлектродвижителей.

Так, во время Второй мировой войны, участвуя в сражениях у Соломоновых островов в августе 1942 г., авианосец был торпедирован японской подводной лодкой. И хотя повреждения оказались незначительными, неполадки в электросети привели к тому, что корабль потерял ход. Через два часа электроснабжение было почти восстановлено, но корабль не смог продолжить участие в операции и вынужден был малым ходом уйти к месту базирования в Перл-Харбор для восстановления технической готовности и ремонта, который продлился 1,5 месяца [7].

Совсем недавний опыт использования новых британских эсминцев пр. 45 типа «Daring» связан с постоянно возникающими проблемами ЭУ. Так, например, 8 февраля 2022 г. в СМИ (ТАСС) прошла информация о том, что все шесть современных британских эсминца ошвартованы у причалов из-за проблем с ЭУ. Все они с момента спуска на воду постоянно испытывали проблемы с силовыми установками. В ноябре 2021 г. британский вице-адмирал Крис Гарднер заявил специальному комитету по обороне, что дефекты всех шести кораблей будут устранены к 2028 г. В настоящее время на этих эсминцах реализуется долгосрочный проект повышения мощности с целью улучшения общей устойчивости системы за счет добавления модернизированных дизель-генераторов.

Новейший британский авианосец «Prince of Wales» («Принц Уэльский») стоимостью 3 млрд. фунт. стерл. (около 3,5 млрд. долл.) позорно сломался у берегов Англии вскоре после отплытия из Портсмута 28 августа 2022 г. Корабль направлялся в сторону США для участия в совместных учениях с американскими и канадскими военными. Причиной стала механическая проблема, как заявили представители британских ВМС, без уточнения какая именно. Характеризуя низкую надежность системы электродвижения данного корабля, следует отметить, что в 2020 г. авианосец был отправлен на длительный ремонт после попадания воды в машинное отделение из-за выхода из строя системы пожаротушения. Была залита водой система энергообеспечения, что и привело к ремонту корабля.

Неоднократные поломки сопровождали и другой британский авианосец «Queen Elizabeth» («Королева Елизавета») из-за неоднократных случаев попадания воды



Рис. 10. Авианосец ВМС США «Saratoga» (CV-3)

внутри корпуса корабля, очевидно из-за проблем внутренних систем. Во время ходовых испытаний в течение 2017–2020 гг. корабль неоднократно возвращался в порт Портсмут для ремонта из-за попадания воды внутрь корпуса забортной воды. Очевидно, что система полного электродвижения весьма чувствительна даже к незначительным повреждениям, следствием которых является попадание забортной воды внутрь корпуса корабля. Для боевого надводного корабля указанный факт критичен, высокая чувствительность ЭУ к незначительным повреждениям в условиях боевых действий недопустима. Основными свойствами ЭУ боевых кораблей должны выступать высокая надежность и устойчивость к боевым и аварийным повреждениям (т.е. живучесть).

Эсминцы-«невидимки» ЭМ УРО ВМС США пр. DD (X) типа «Zumwalt» – наглядный пример того, как непомерные амбиции привели к более чем скромному результату. Пентагон рассчитывал получить 32 корабля этого типа и уложиться в сумму 40 млрд. долл., однако цена росла астрономическими темпами. Заказ снизили до 24 эсминцев, потом до 7, в итоге флот ограничился всего тремя кораблями стоимостью 4,4 млрд. долл. каждый.

На практике, при попытке использовать «Zumwalt» на полном ходу, ЭУ вышла из строя менее чем через месяц, что повлекло необходимость буксировать лишившийся электроснабжения корабль к месту ремонта. Некоторые аналитики утверждают, что выбор системы полного электродвижения был обусловлен, кроме всего прочего, наличием экспериментальной пушки на базе рельсотрона, хотя данное орудие еще до сих пор не прошло испытания и не установлено на корабле.

Головной эсминец серии DDG-1000 «Zumwalt» спустили на воду 16 октября 2016 г., через неделю он потерял ход в

Панамском канале. Вышла из строя ГЭУ из-за попадания морской воды в подшипники, соединяющие индукционные бортовые гребные двигатели корабля с их приводными валами. Оба вала вышли из строя, и «Zumwalt» врезался в стену канала. После инцидента корабль был отбуксирован в ближайшую военно-морскую базу для ремонта.

В декабре 2017 г. во время ходовых испытаний возникли проблемы у его младшего брата DDG-1001, у которого отказали фильтры гармоник, защищающие чувствительное электрооборудование от нежелательных колебаний мощности. В результате корабль лишился возможности использовать сложную электрическую сеть при высоких нагрузках, испытания были прерваны, а корабль отправлен на ремонт.

Все вышеперечисленные факты низкой надежности и невысокой живучести новых зарубежных кораблей с полным электродвижением явным образом свидетельствуют не в пользу использования таких систем на отечественных перспективных боевых надводных кораблях. Указанные проблемы должны настораживать конструкторов, а сама концепция и подходы к использованию систем электродвижения требуют серьезного переосмысления, что связано с нивелированием перечисленных выше преимуществ таких систем их серьезными недостатками.

Немногом позже, начиная с 2010 г., в европейских морских державах с началом серийного строительства фрегатов нового поколения: серии FREMM для ВМС Франции и Италии, серии F125 для ВМС Германии и фрегата пр. 26 для британских ВМС, концепция полного электродвижения уже нигде не использовалась, хотя водоизмещение указанных кораблей практически не отличалось от британских эсминцев пр. 45 типа «Daring» с ра-

нее реализованной концепцией ОЭЭС. Осознавая безальтернативность системы электродвижения на поисковых режимах, конструкторы вернулись к системе частичного электродвижения, по аналогии с фрегатами ПЛО пр. 23 типа «Duke» британских ВМС, но с более совершенным схемным исполнением (рис. 11).

Особенностью ЭУ фрегатов серий: FREMM, F125 и пр. 26 является использование абсолютно идентичного схемного исполнения GODLAG (рис. 11), включающего: два низкооборотных ГЭД с возможностью их отключения от главного редуктора, четыре дизель-генератора в составе электроэнергетической системы, используемых в качестве источников электроэнергии для ГЭД и общекорабельной сети, одного форсажного ГТД, с возможностью его работы через главную редукторную передачу фирмы Renk AG (Германия) на обе линии вала.

Дизель-генераторы генерируют ток высокого напряжения – 6,6 кВ, а в общекорабельной сети используется напряжение 440 В с частотой тока 60 Гц. Отличие ЭУ фрегатов перечисленных проектов состоит лишь в использовании ГЭД различной мощности, форсажных ГТД и дизель-генераторов различной мощности и различных производителей.

Анализируя трансформацию подходов конструкторов к использованию систем электродвижения за столь короткий период (менее 10 лет), можно сделать вывод о том, что система полного электродвижения, на которую конструкторы возлагали большие надежды в начале XXI столетия, не оправдала себя, и предпочтение на кораблях последующих серий было отдано системе частичного электродвижения. Исключение составляют британские авианосцы типа «Queen Elizabeth» а американские эсминцы типа DDG-1000 «Zumwalt», это объясняется тем, что проектно-изыскательские работы указанных кораблей начались задолго до начала их серийного строительства, когда в головах конструкторов еще царил эйфория о реализации концепций «полного электродвижения» (*Full electric propulsion*) или «полностью электрического корабля» (*Full Electric Ship*).

Несмотря на преимущества систем полного электродвижения, изложенных выше и в [2–6], основными посылками к отказу от их использования на перспективных боевых надводных кораблях послужили присущие им весьма серьезные недостатки, к которым следует отнести:

1. **Значительное снижение экономической ЭУ** при передаче крутящего момента от тепловых двигателей на винт в связи с двойным преобразованием энергии, из-за чего потери составляют не менее 12% (рис. 12), что более чем в 2 раза превышает потери при прямой передаче (не более 5,5%).

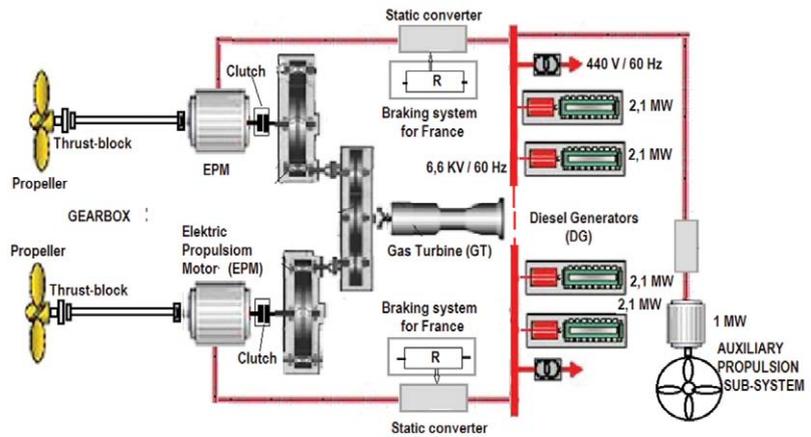


Рис. 11. Принципиальная схема ЭУ фрегатов класса FREMM схемного исполнения GODLAG

Даже в случае использования передовых технологий высокотемпературной сверхпроводимости (ВТСП) при изготовлении ГЭД и электрических генераторов КПД указанных механизмов можно повысить до значений не более 98% [8], что в совокупности позволит снизить потери от двойного преобразования энергии не более чем на 4–5%. Суммарные потери при передаче крутящего момента в этом случае составят порядка 7–8%, что в 1,3–1,5 раза больше, чем при прямой передаче.

Кроме того, при использовании технологий ВТСП следует предусматривать систему криогенного обеспечения, т.е. крио-генераторы, специальные емкости для хранения жидкого азота, систему восполнения утечек азота, специальные насосы и трубопроводы для прокачки жидкого азота и др., что приведет к еще большему усложнению и без того сложной системы электродвижения и, как следствие, к снижению ее надежности, живучести и безопасности.

2. **Существенное увеличение габаритов и массы ЭУ, а также водоизмещения корабля**, по сравнению с ЭУ, где используется механическая передача крутящего момента на винт. Данное обстоятельство обусловлено тем, что в ОЭЭС, по сравнению с действующей ЭУ, дополнительно появляются такие громоздкие элементы, как генераторы электроэнергии, трансформаторы, статические преобразователи частоты и гребные электродвигатели. Все это в совокупности обуславливает значительный прирост нагрузки масс корабля.

Даже использование частичного электродвижения на британских фрегатах пр. 23 типа «Duke» с ГЭД незначительной мощности 2×3 МВт привело к увеличению водоизмещения корабля на 10% [2, 3], о чем указывалось выше. Увеличение же суммарной мощности ГЭД на кораблях с ОЭЭС до 40–70 МВт, т.е. в 10–20 раз и более, будет способствовать увеличению габаритов, массы ЭУ и водоизмещению корабля еще в большей степени.

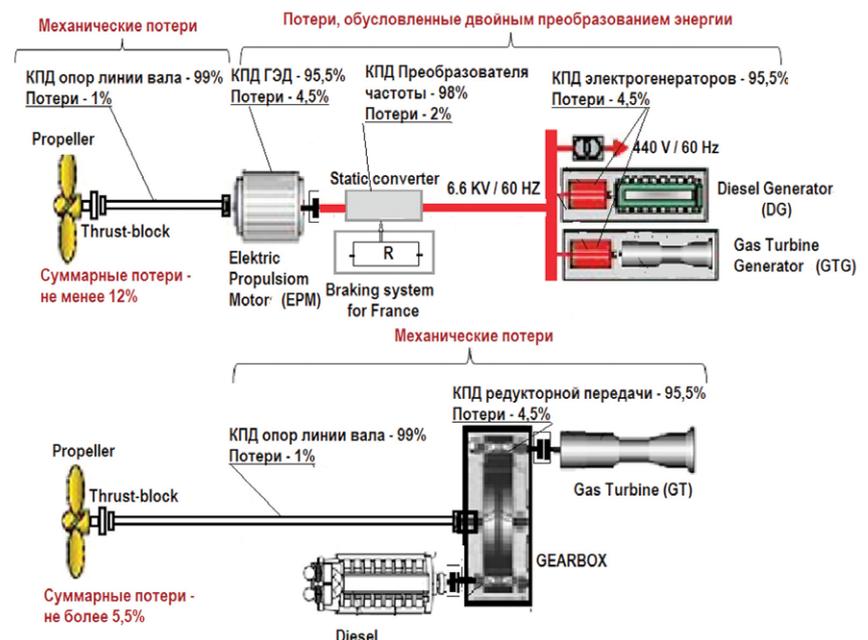


Рис. 12. Сравнительная характеристика потерь при электрической и механической передачах крутящего момента от тепловых двигателей на винт

На сегодняшний день никакие современные технологии электромашиностроения, такие как постоянные магниты с полем большой индуктивности, технологии высокотемпературной сверхпроводимости и др., не могут решить проблему существенного снижения габаритов и массы ЭУ с полным электродвижением, приблизив ее к массе ЭУ с прямодействующими приводами.

3. *Значительное увеличение стоимости* создания ЭУ с полным электродвижением – не менее чем в 2 раза, чем ЭУ с прямодействующей передачей крутящего момента на винт. По сути, стоимость создания (контрагентские расходы) такой ЭУ приближается к стоимости атомной энергетической установки. Эксплуатационные расходы также увеличатся главным образом вследствие роста затрат на топливо по причине снижения экономичности ЭУ, а также вследствие увеличения расхода топлива, связанного с ростом водоизмещения корабля с ОЭЭС.

4. *Низкая надежность и живучесть ЭУ с ОЭЭС*, о чем свидетельствует зарубежный опыт эксплуатации таких кораблей, упоминаемый выше.

Что касается *системы частичного электродвижения*, которая используется на фрегатах FREMM (ВМС Франции и Италии), F125 (ВМС Германии) и пр. 26 британских ВМС схемного исполнения CODLAG (см. рис. 11), то она также *не лишена определенных недостатков*, в частности:

- на кораблях используются малооборотные ГЭД мощностью соответственно 2×2,5 МВт (на FREMM), 2×3 МВт (на британском проекте 26) и 2×4,7 МВт (на немецких фрегатах F125) массой в диапазоне от 40 до 60 т каждый, т.е. при относительно небольшой мощности, привносят значительный вклад в нагрузку масс корабля;
- гребные электродвигатели имеют два функциональных назначения: обеспечение маломощных поисковых режимов на малых скоростях хода (до 12 – 14 уз) с отключенным главным редуктором и обеспечение маршевых экономических ходов на скоростях 16–20 уз, т.е. выполняют функцию маршевых двигателей. Учитывая двойное преобразование энергии (см. рис. 11) и, как следствие, снижение экономичности на маршевых ходах, такой способ является проигрышным по сравнению с прямодействующей передачей крутящего момента.

Наиболее перспективной на сегодняшний день ЭУ с системой частичного электродвижения, которая лишена перечисленных выше недостатков, является установка многоцелевого патрульного корабля ВМС Италии класса PPA, которые серийно строятся на верфи Fincantieri (рис. 13).

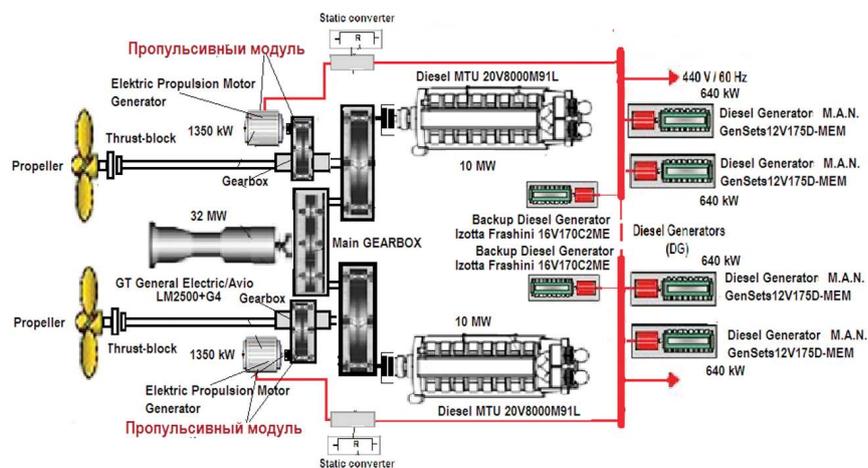


Рис. 13. Принципиальная схема ЭУ многоцелевого патрульного корабля класса PPA

ЭУ корабля включает: 1×ГТД General Electric/Avio LM2500+G4 мощностью 32,0 МВт, 2×дизельных двигателя MTU 20V8000M91L мощностью 2×10,0 МВт, 4×дизель-генератора M.A.N. GenSets 12V175D-MEM мощностью 4×640 кВт, 2×реверсивных пропульсивных модуля (ГЭД/генератора) мощностью 2×1350 кВт, 2×резервных дизель-генератора Isotta Fraschini 16V170C2ME.

В схемном исполнении ЭУ корабля системе электродвижения отводится роль только обеспечения поисковых режимов ПЛО на малых ходах с возможностью вывода из действия главных двигателей и отключения линий вала от главного редуктора. Для реализации указанного технического решения используется пропульсивный модуль (рис. 14), встраиваемый непосредственно в линию вала.

Для осуществления поисковых режимов ПЛО в составе пропульсивного модуля имеется высокооборотный гибридный электрический привод (электродвигатель/генератор) относительно небольшой мощности (1350 кВт), которой достаточно для развития скорости хода не более 7 – 10 уз. Гибридный электропривод имеет небольшую массу и габариты (см. рис. 14) и вместе со своим редуктором смонтирован на общей раме.

Такое решение позволяет установить единую раму пропульсивного модуля на корабельном фундаменте через низкокачественные амортизирующие крепления.

Гибридный электрический привод может соединяться/разъединяется с линией вала посредством специальной сервоуправляемой соединительной муфты (см. рис. 14).

Сервоуправляемая соединительная муфта обеспечивает как полное рассоединение модуля с валом при работе главного газотурбинного или дизельного двигателя по схеме CODELOG (англ. *COmbined Diesel eLectric Or Gas turbine*), так и совместную работу ГТД или ДВС по схеме CODELAG (англ. *COmbined Diesel eLectric And Gas turbine*). Для уменьшения уровня шума ГЭД/генератор размещен в звукоизолирующем кожухе.

Достоинством такого технического решения является то, что системе электродвижения отводится минимальная роль – обеспечение лишь поисковых режимов ПЛО, что в совокупности с использованием высокооборотного ГЭД малой мощности позволяет существенно сократить ее массу и габариты. Кроме того, в схемном исполнении конструкторы вернулись к прямодействующей передаче крутящего момента на винт как на маршевых ходах, путем использования

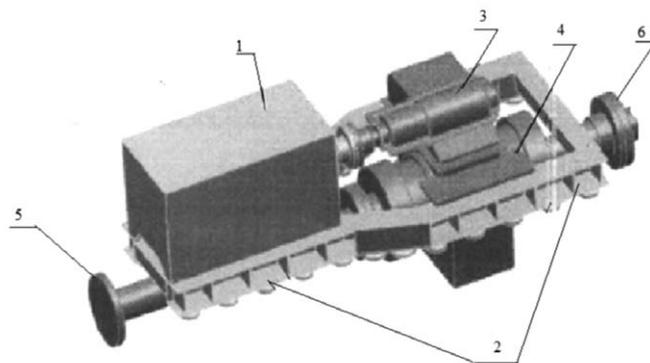


Рис. 14. Общий вид пропульсивного модуля

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

дизельных двигателей, так и на скоростях полного хода, путем использования форсажного ГТД, что позволяет избежать двойного преобразования энергии.

Согласно расчетам, один работающий дизель обеспечивает кораблю возможность маневрирования на скорости 10 – 18 уз. При подключении второго дизеля скорость хода превысит 20 уз, следующая опция – отключить оба дизеля и запустить газовую турбину, что даст возможность развивать скорость 28 – 29 уз. Четвертая опция – одновременное подключение обоих главных дизелей и газовой турбины, что обеспечивает полный ход 32 уз (проектное значение). Пятый вариант – в случае повреждения дизелей и турбины (или главного редуктора) фрегат способен продолжать движение на одном или двух гребных электромоторах, приводимых в действие основными или резервными дизель-генераторами. Данный режим также считается основным при патрулировании корабля на малых скоростях хода (до 7 – 10 уз).

С увеличением скорости хода гребные электромоторы смогут вместе или по отдельности переключаться в генераторный режим, повышая энергетические возможности корабля, что позволяет отключить один или два работающих дизель-генератора.

Для существенного снижения уровня вибрации и шума на поисковых режимах подводных лодок с помощью серво-управляемой муфты главная редукторная передача может полностью отключаться от валолинии, позволяя вывести из действия главные двигатели (ГТД и ДВС), обеспечивая малозумный режим движения корабля только под ГЭД, питаемых электроэнергией от работающих дизель-генераторов.

Подобное схемное решение на сегодняшний день воплощает собой «пик» эволюционного развития корабельных ЭУ.

Таким образом, на основе всего вышесказанного можно утверждать, что накопленный на сегодняшний день опыт разработки, создания и эксплуатации систем электродвижения на боевых надводных кораблях кардинально изменил подходы (взгляды) конструкторов к этим системам, в частности:

1. Полностью опровергнуто утверждение о том, что применение принципа полного электродвижения позволяет исключить из состава ГЭУ (или сократить до минимума) громоздкие редукторные передачи и протяженные линии вала, существенно сократив массу ЭУ [2–6]. На самом деле появление в составе ЭУ громоздких электрогенераторов, ГЭД, частотных преобразователей, трансформаторов и других дополнительных элементов способствует увеличению массы ЭУ с ОЭЭС не менее чем в 1,5–2 раза по сравнению с ЭУ с

прямодействующей передачей крутящего момента на винт.

2. Разрушен также стереотип о том, что в ОЭЭС появляется возможность подбора на основных режимах хода корабля рационального состава работающих дизель- или газотурбогенераторов, приблизив их нагрузку к номинальной, обеспечив тем самым высокую экономичность ЭУ и дальность плавания корабля [2–6]. На самом деле двойное преобразование энергии не только полностью нивелирует указанное преимущество, но и, наоборот, способствует значительному снижению экономичности ЭУ по сравнению с прямодействующей передачей на винт.

3. Многократно возрастающая стоимость ОЭЭС за счет дорогостоящих элементов системы электродвижения (генераторы, ГЭД, преобразователи, трансформаторы, фильтры гармоник и др.), а также низкая ее надежность и живучесть, делают такую систему полностью неконкурентной по сравнению с ЭУ с прямодействующими приводами.

Тем не менее полностью исключить систему электродвижения из использования на боевых кораблях не следует, что обусловлено безальтернативностью ее применения на поисковых режимах ПЛО на малых ходах, когда появляется возможность вывести из действия ГЭУ и отключить главный редуктор от линии вала. Поэтому к настоящему времени у конструкторов устоялось мнение о том, что данную систему целесообразно использовать только в узком диапазоне ходов, до скоростей хода, когда акустический шум винтов начинает доминировать над шумом ГЭУ, т.е., как правило, до 12 уз. Для обеспечения таких скоростей появляется возможность минимизировать мощность, массу и стоимость всех составляющих элементов системы электродвижения (ГЭД, генераторов, преоб-

разователей, трансформаторов) сделав ее миниатюрной в составе ЭУ.

Отечественный опыт реализации системы электродвижения на боевых надводных кораблях реализован на перспективном корвете морской зоны. В соответствии с основными мировыми тенденциями в области корабельного энергомашиностроения в АО «ЦМКБ «Алмаз» при проектировании перспективного корвета морской зоны впервые в ВМФ России было внедрено схемное решение CODLOG (англ. *COmbined Diesel-eLectric Or Gas turbine*) с частичным электродвижением (рис. 15).

В своем составе ЭУ содержит (рис. 15) газотурбинный агрегат МАЗ с двумя ГТД М90ФР в капоте, работающими каждый на свой редуктор и межредукторную перекидку, обеспечивающую работу любого одного ГТД на обе линии вала. К редукторам левого и правого бортов подключены гребные электродвигатели АДР-1600, обеспечивающие кораблю движение маршевыми ходами на скоростях до 14 уз. Электропитание ГЭД обеспечивается от 2 дизель-генераторов ДГАС-1600, разработанных с использованием перспективного дизеля V12 ДМ185 производства Уральского дизель-моторного завода. В схеме ЭУ также предусмотрена возможность работы любого одного ГЭД на обе линии вала. Такое схемное решение КЭУ отличают высокая надежность и живучесть.

В отличие от зарубежных кораблей с частичным электродвижением, ГЭД выполнены высокооборотными (800 об/мин), что позволило снизить их массу до 8500 кг.

С учетом новых подходов к использованию системы электродвижения на перспективных боевых надводных кораблях при обосновании «облика» ЭУ (т.е. типа, состава и схемного исполне-

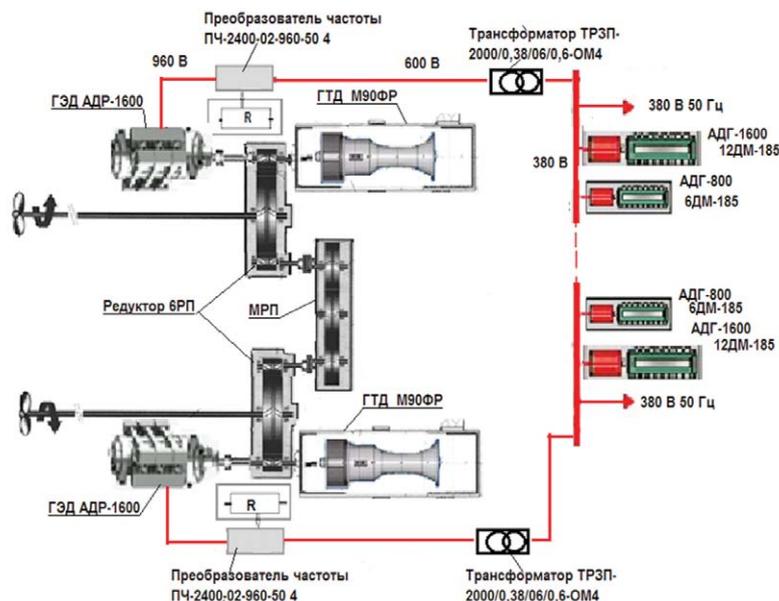


Рис. 15. Структурная схема ЭУ перспективного корвета

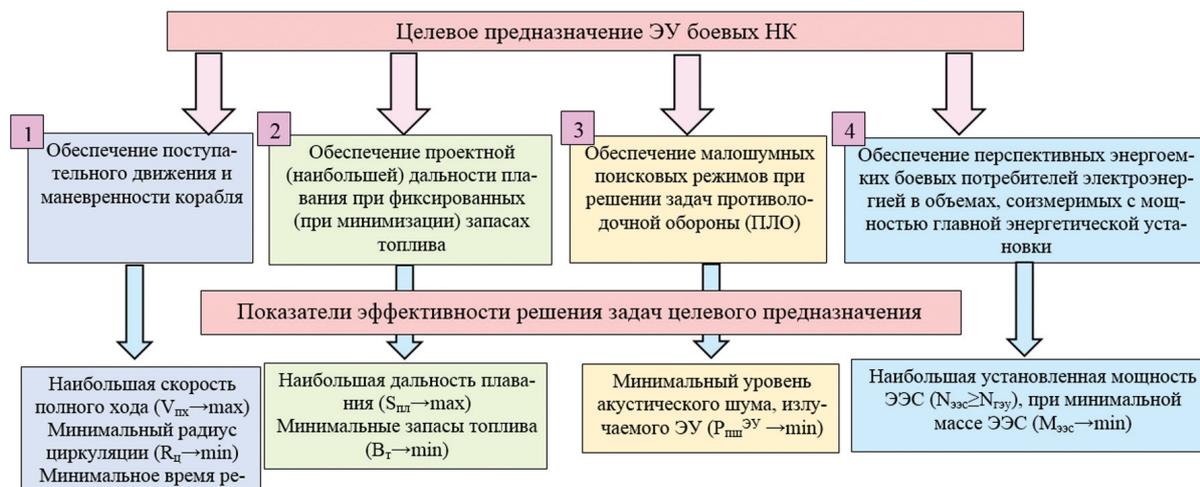


Рис. 16. Целевое предназначение ЭУ

ния), очевидно, следует исходить из ее (ЭУ) целевого предназначения (рис. 16), а именно [9, 10]: обеспечения поступательного движения и маневренности корабля и проектной дальности плавания с возможностью решения задач в отдаленных районах, что позволит соотносить к кораблям океанской зоны, а также обеспечение малошумных поисковых режимов при решении задач противовоздушной обороны и перспективных энергоемких боевых потребителей электроэнергии в объемах, соизмеримых с мощностью ГЭУ.

Для реализации *первого целевого предназначения* основная роль должна отводиться форсажным ГТД, обладающими высокой агрегатной мощностью при минимальных габаритах и массе и использовании прямодействующей передачи крутящего момента через главный редуктор на винт.

Для реализации *второго целевого предназначения* в состав ЭУ следует включать маршевые дизельные двигатели, обладающие наибольшей топливной экономичностью в широком диапазоне нагрузок, при прямодействующей передаче крутящего момента через главный редуктор на винт.

Учитывая важность решения задач ПЛО перспективными надводными кораблями, для реализации *третьего целевого предназначения* целесообразно включать в состав ЭУ пропульсивные модули с высокооборотными ГЭД с собственными редукторами, монтируемыми на линии вала. Данные модули должны обеспечивать поисковые скорости хода (до 10 – 12 уз) с возможностью вывода из действия ГЭУ и отключения редуктора от линии вала.

Четвертое целевое предназначение ЭУ носит дискуссионный характер, имеется в виду необходимость наращивания электрической мощности на корабле до объемов, соизмеримых с мощностью ГЭУ. Ответ на этот вопрос следует искать у разработчиков перспективных видов оружия и вооружения, т.е. появятся ли

в ближайшей или отдаленной перспективе такие образцы, как рельсотроны, энергоемкие лазеры, электромагнитные катапульты и др. В случае утвердительного ответа на данный вопрос могут возникнуть иллюзии, что, невзирая на все отмеченные недостатки, конструкторы вынуждены будут все равно вернуться к системе полного электродвижения.

Однако в этом случае можно использовать другое техническое решение, позволяющее обойтись без системы полного электродвижения. Решение указанной задачи возможно путем так называемого

«наименьшего зла», т.е. за счет использования инновационных схемных решений ЭУ, в которых применяются унифицированные главные двигатели, с возможностью их работы как в составе пропульсивного комплекса, так и в качестве приводов генераторов электроэнергии (рис. 17 – 20) [9, 10].

Суть такого технического решения состоит в том, что мы ограничиваемся введением в состав ЭУ только лишь мощных электрогенераторов, приводимых от унифицированных перспективных ГТД 5-го поколения большой агрегат-

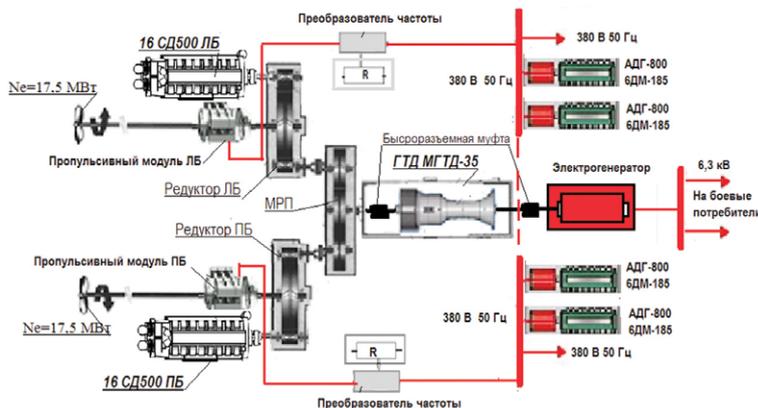


Рис. 17. Структурная схема ЭУ перспективного корабля $D \approx 3400 \div 6500 \text{ т}$

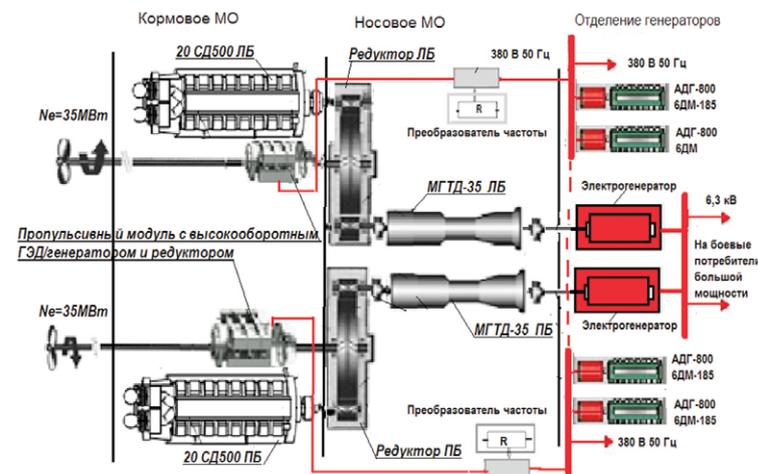


Рис. 18. Структурная схема ЭУ перспективного корабля $D \approx 3400 \div 6500 \text{ т}$

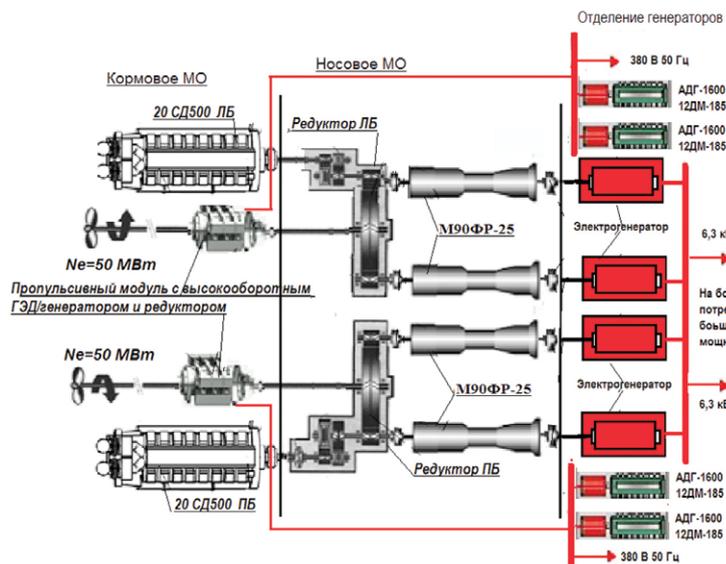


Рис. 19. Структурная схема ЭУ перспективного корабля $D \approx 8000 \div 10000$ т

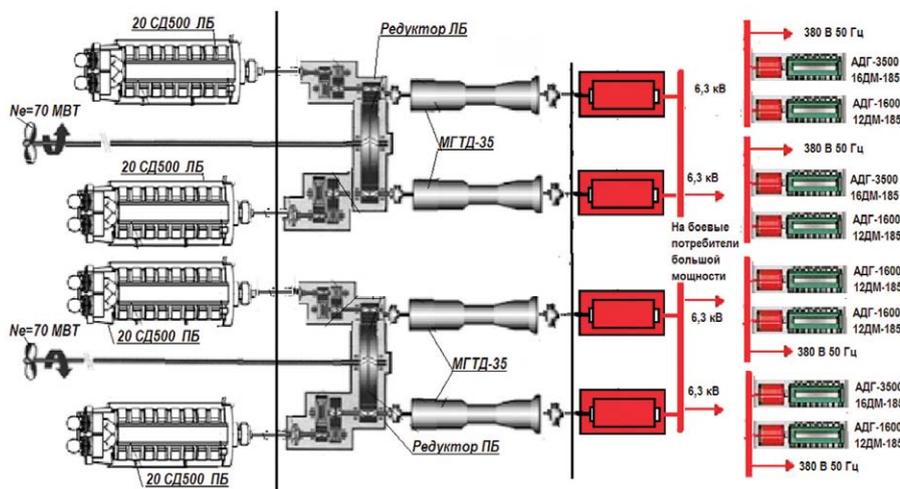


Рис. 20. Структурная схема ЭУ авианосца $D \approx 40000 \div 65000$ т

ной мощности (≥ 35 МВт). При этом нет необходимости использовать в составе ЭУ громоздких ГЭД, трансформаторов, преобразователей частоты, фильтров гармоник и др., как это принято в системах с полным электродвижением.

Возможность разработки и создания такого ГТД с отбором мощности как со стороны турбины, так и со стороны компрессора, обсуждалось со специалистами ПАО «ОДК-Сатурн».

Что касается всего схемного исполнения ЭУ (рис. 17 – 20), то такая установка должна быть унифицирована для использования на кораблях широкого спектра классов, т.е. от корветов ($D \geq 3500$ т) до авианосцев ($D \leq 70000$ т), с возможностью варьирования валовой мощности в диапазоне от 17 до 70 МВт [9, 10].

Суть указанной унификации состоит в использовании одного типа главных ГТД нового поколения (МГТД-35) производства ПАО «ОДК-Сатурн», одного типа главных дизелей нового поколения (серии Д500) производства АО «Коломенский завод» и одного типа ди-

зель-генераторов с приводом от дизеля нового поколения серии ДМ-185 производства ООО «Уральский дизель-моторный завод». Главные редукторы могут быть также унифицированы, т.е. иметь одинаковый состав и размеры зубчатых шестерен и колес.

По сути установка должна представлять своего рода трансформер, где по мере роста водоизмещения корабля к колесу 2-й ступени редуктора подсоединяется необходимое количество главных двигателей (МГТД-35 и Д500), обеспечивая кораблю требуемые характеристики по валовой мощности [9, 10].

Вывод. Таким образом, на основании всего выше изложенного можно утверждать, что за последние два десятилетия происходила серьезная трансформация подходов конструкторов к использованию системы электродвижения в составе ЭУ боевых кораблей, от наращивания мощности такой системы до значений валовой мощности полного хода корабля, ее минимизации до значений, соот-

ветствующих мощности поисковых режимов ПЛО.

При обосновании облика ЭУ перспективных кораблей следует придерживаться концепции ее унификации, т.е. приспособления для использования на кораблях широкого спектра классов, от корветов до авианосцев.

Изложенные выше инновационные технические решения по формированию схемного исполнения ЭУ позволяют без ущерба для эффективности решать кораблями весь комплекс поставленных задач, включая задачу ПЛО, имея при этом минимальные габариты и массу, а также существенно меньшие затраты на разработку, создание и эксплуатацию ЭУ, по сравнению с кораблями с ОЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дарьенков А.Б., Мирясов Г.М., Титов В.Г., Охотников М.Н., Умяров Д.В. Гребные электрические установки. Учеб. пособие. – Н. Новгород: Изд. ФГБОУ ВПО «Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», 2014.
2. Шинкоренко Д. Перспективы развития энергетических установок надводных кораблей ВМС зарубежных стран // Зарубежное военное обозрение. – 2007. – №1. – С.54–61; №3. – С.58–61.
3. Шинкоренко Д. Разработка новых энергетических установок за рубежом – шаг к кораблям нового поколения // Зарубежное военное обозрение. – 2014. – №7. – С.81–70.
4. Спири В., Василевский Д., Соловьев Ю., Строгов А. Программа создания эсминцев УРО нового поколения типа «Замволт» для ВМС США. – Ч.1 // Зарубежное военное обозрение. – 2014. – №7. – С.81–92.
5. Спири В., Василевский Д., Соловьев Ю., Строгов А. Программа создания эсминцев УРО нового поколения типа «Замволт» для ВМС США. – Ч.2 // Зарубежное военное обозрение. – 2014. – №10. – С.81–88.
6. Спири В., Василевский Д., Соловьев Ю., Строгов А. Программа создания эсминцев УРО нового поколения типа «Замволт» для ВМС США. – Ч.3 // Зарубежное военное обозрение. – 2014. – №11. – С.76–80.
7. Википедия USS Саратога (CV-3). – <https://ru.m.wikipedia.org/wiki>
8. Научно-исследовательская работа «Инженерные решения по внедрению системы электродвижения на основе ВТСП-технологий...»/АО «ЦМКБ «Алмаз», 2021.
9. Барановский В.В., Печковский П.Г. Обоснование направлений развития и совершенствования энергетических установок перспективных боевых надводных кораблей. – Ч.1 // Морской вестник. – 2022. – №2 (82). – С.29–38.
10. Барановский В.В., Печковский П.Г. Обоснование направлений развития и совершенствования энергетических установок перспективных боевых надводных кораблей. – Ч.2 // Морской вестник. – 2022. – №3 (83). – С.50–54. ■

Начало XXI в. характеризуется интенсивным изменением в военном кораблестроении, кардинально меняется облик надводных кораблей, расширяется спектр решаемых ими задач, приоритетное развитие получают ракетные системы с унифицированными вертикальными пусковыми установками, существенный скачок происходит в развитии радиоэлектронного вооружения и средств радиоэлектронной борьбы. По мере эволюционного развития оружия и вооружения кораблей происходит совершенствование и развитие корабельных тепловых двигателей и энергетических установок (ЭУ), созданных на их основе.

Направленность развития корабельных ЭУ в первую очередь предопределяют достигнутый уровень совершенства корабельных тепловых двигателей в плане термодинамической эффективности, агрегатной мощности, надежности и степени автоматизации [1].

Анализируя тенденции развития ЭУ многоцелевых кораблей в последние десятилетия, можно утверждать, что их совершенствование происходит в целях удовлетворения ужесточающимся от поколения к поколению тактико-технических требований к кораблям. Так, например, при неснижающихся требованиях к маневренности и скорости полного хода ужесточаются требования к дальности плавания и автономности кораблей. Для современных кораблей класса фрегат или эскадренный миноносец дальность плавания должна составлять не меньше 7000 миль, хотя в недалеком прошлом она не превышала 5000 миль.

Перспективные многоцелевые корабли проектируют, исходя из условия длительного нахождения на боевой службе в различных регионах Мирового океана (до двух лет) без захода в свою базу приписки [2]. В связи с этим к надежности, живучести, долговечности и ремонтпригодности систем и механизмов ЭУ предъявляются повышенные требования. Проектанты одной из основных целей ставят доведение коэффициента оперативной готовности до 5000 ч в год (коэффициент оперативного напряжения $K_{оп} = \frac{5000}{8760} = 0,57$) и обеспечение ресурса главных двигателей до проведения капитального ремонта в 30 000 ч [2]. Интервал между доковыми ремонтами определен в пять лет [2]. Весьма серьезно ужесточились требования к акустической скрытности кораблей и плавности изменения хода при выполнении поисковых задач с буксируемой ГАС.

Однако одним из основных требований при развитии и совершенствовании ЭУ остается минимизация расхода топлива кораблем в широком диапазоне

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ КОРАБЕЛЬНОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ БОЛЬШОЙ АГРЕГАТНОЙ МОЩНОСТИ

П.Г. Печковский, канд. техн. наук, зам. ген. директора по науке и развитию АО «Корпорация морского приборостроения»,

К.А. Ефремов, канд. техн. наук, преподаватель ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», контакт. тел. (812) 679 7526, (812) 431 9435

не ходовых режимов. Реализация указанного требования представляет собой сложную оптимизационную задачу при формировании облика ЭУ перспективного корабля.

Эта сложность особенно проявляется при использовании в составе главной энергетической установки (ГЭУ) газотурбинных установок, т.е. когда в качестве главных двигателей ГЭУ используются исключительно газотурбинные двигатели (ГТД).

Сложность оптимизации режимов использования ГТД в составе пропульсивного комплекса корабля в обеспечении высокой топливной экономичности обусловлена особенностями изменения удельного расхода топлива ГТД в зависимости от нагрузки [3, 4].

Рассмотрим это на примере ГТД М90ФР производства ПАО «ОДК-Сатурн», кривая изменения удельного расхода топлива которого представлена на рис. 1. Из анализа рисунка следует, что наименьший расход топлива ГТД М90ФР – 243 г/(кВт·ч) наблюдается на номинальном режиме [3, 4]. Однако этот режим использования двигателя существенно ограничен ускоренным истощением ресурса. Так, при работе ГТД на нагрузке в диапазоне от 80 до 100% от номинальной (16,0 – 20,0 МВт) и заявленном производителем ресурсе двигателя до капитального ремонта в 20 000 ч полное истощение

ресурса произойдет всего через 350 ч (см. рис. 1) [5], при работе на нагрузке в диапазоне от 70 до 80% от номинальной (14,0 – 16,0 МВт) – через 1000 ч, а при работе с нагрузкой в диапазоне от 60 до 70% от номинальной (12,0 – 14,0 МВт) – через 10 000 ч [5]. Таким образом, заявленный ресурс до капитального ремонта в 20 000 ч обеспечивается на нагрузках менее 60% от номинальной, т.е. $\leq 12,0$ МВт [5].

Указанное обстоятельство, а именно, зависимость скорости истощения ресурса ГТД от нагрузки двигателя, может поставить под сомнение выполнение тактико-технического задания (ТТЗ) на корабль в плане обеспечения скорости полного хода. По крайней мере, продолжительность таких режимов должна специально оговариваться.

В плане оптимизации режимов использования ГТД в обеспечение минимального расхода топлива также наблюдается серьезное противоречие, выражающееся в том, что режимы работы ГТД с относительно высокой экономичностью (на нагрузках более 60% от номинальной) существенно ограничены ускоренным истощением ресурса. А режимы работы ГТД с приемлемой экономичностью ($b_e \approx 255 - 275$ г/(кВт·ч), где нет ограничений по ускоренному истощению ресурса, также ограничены узкой полосой в диапазоне нагрузок 10 000 – 12 000 кВт (см. рис. 1).

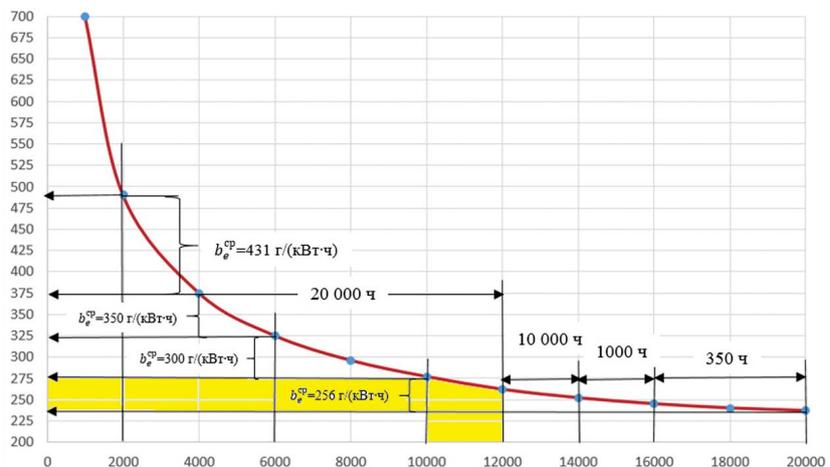


Рис. 1. Изменение назначенного ресурса и удельного расхода топлива ГТД М90ФР при изменении нагрузки

Кроме всего вышеизложенного, серьезным изъяном всех корабельных ГТД является значительная подверженность технико-экономических характеристик влиянию факторов окружающей среды [5] (рис. 2 – 5).

Из анализа информации, представленной на рис. 2 – 5, следует, что увеличение температуры наружного воздуха по сравнению с расчетным значением на 15 – 35 °С приводит к снижению мощности корабельных ГТД соответственно на 13 – 30% и более, т.е. увеличение на 1 °С температуры выше расчетной способствует снижению мощности ГТД примерно на 1%. Скорость полного хода корабля при этом снижается на 2 – 3 уз, что, в принципе, незначительно и обусловлено характером изменения буксировочной кривой в районе скоростей полного хода.

С другой стороны, значительное увеличение выше расчетного значения температуры наружного воздуха приводит к существенным изменениям топливной экономичности и дальности плавания корабля (рис. 6, рис. 7).

Из анализа кривых, представленных на рис. 8 и рис. 9, следует, что увеличение температуры наружного воздуха на 15–35 °С приводит к значительному увеличению часового и удельного расходов топлива ГТД (на 13–27 % и более), что способствует снижению дальности плавания корабля под ГТД на аналогичные относительные величины по сравнению с расчетной температурой наружного воздуха.

Все режимы работы ГТД на нагрузках менее 50% от номинальной сопровождаются повышением удельного расхода топлива, который стремительно увеличивается по мере снижения нагрузки.

Таким образом, конструкторам в ходе формирования облика ГЭУ перспективного корабля с газо-газотурбинной установкой при оптимизации режимов использования ГТД в разрешении противоречия, связанного с обеспечением регламентированного ресурса двигателей и минимизацией расхода топлива в широком диапазоне ходовых режимов, необходимо «уложиться» в узкий диапазон нагрузок использования двигателей – в 50 – 60% от номинальной, что практически невозможно (см. рис. 1 – 7).

Как вариант выхода из сложившегося положения можно рекомендовать организацию опытно-конструкторских работ (ОКР) по форсированию базового ГТД М90ФР до мощности 25 МВт и по разработке перспективного ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью 35 МВт. О готовности реализации обоих вариантов неоднократно заявлял разработчик ГТД – ПАО «ОДК-Сатурн» [3, 4].

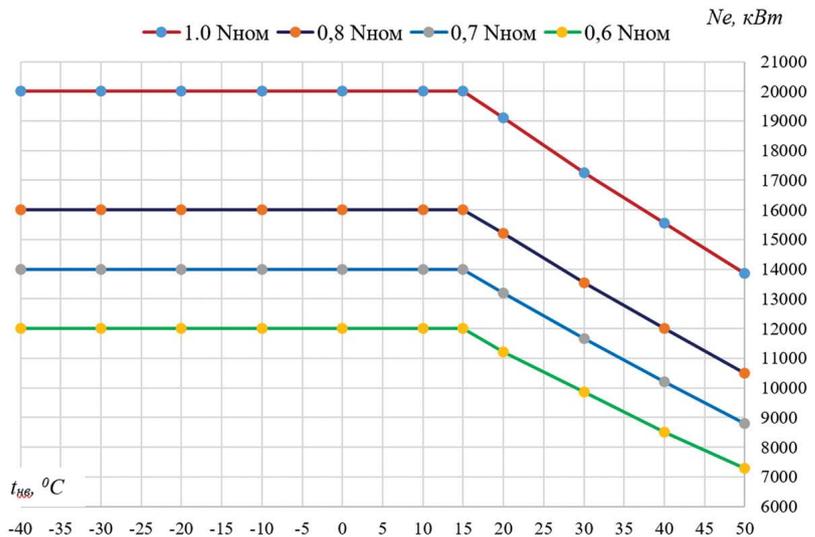


Рис. 2. Изменение мощности ГТД М90ФР в зависимости от температуры атмосферного воздуха

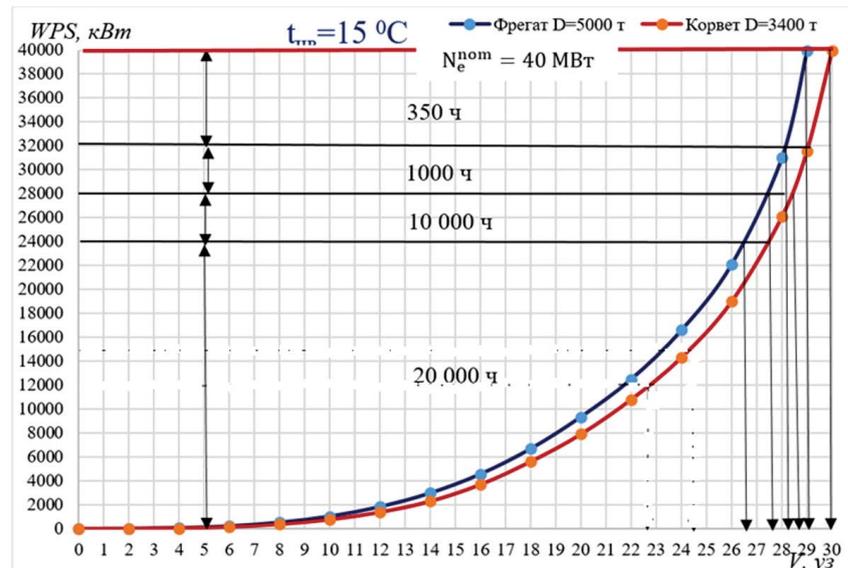


Рис. 3. Ограничительные характеристики номинальной мощности ГЭУ, скорости хода корабля и скорости исчерпания ресурса ГТД М90ФР при расчетной температуре наружного воздуха $t_{\text{нв}} = +15^\circ\text{C}$

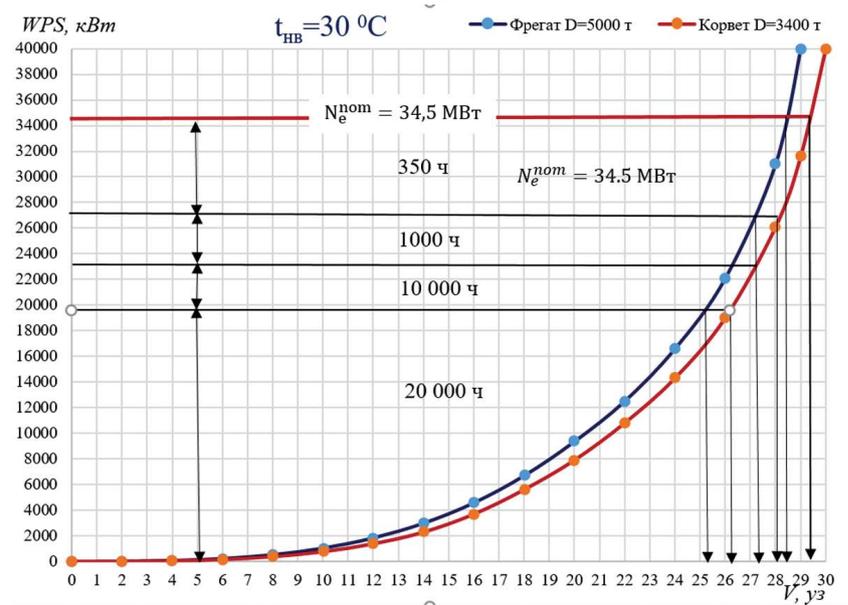


Рис. 4. Ограничительные характеристики номинальной мощности ГЭУ, скорости хода корабля и скорости исчерпания ресурса ГТД М90ФР при расчетной температуре наружного воздуха $t_{\text{нв}} = +30^\circ\text{C}$

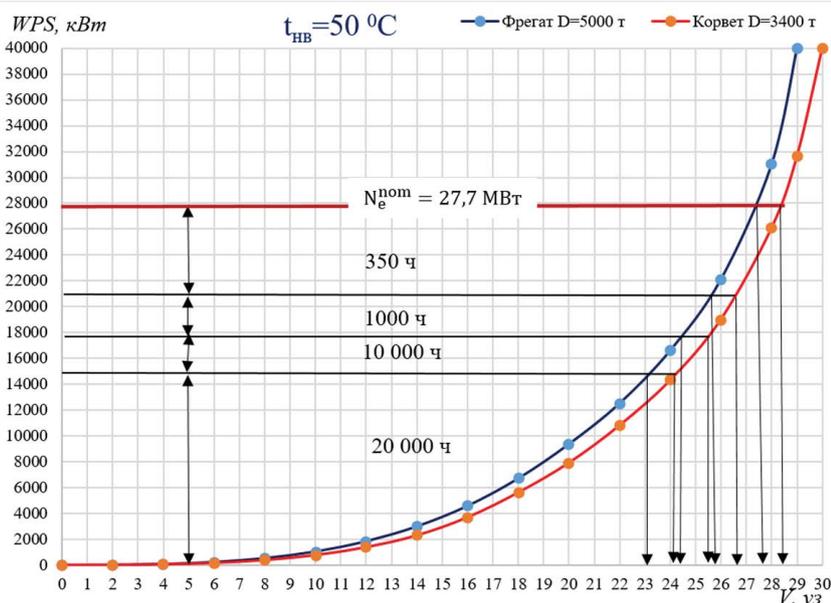


Рис. 5. Ограничительные характеристики номинальной мощности ГЭУ, скорости хода корабля и скорости исчерпания ресурса ГТД М90ФР при расчетной температуре наружного воздуха $t_{нв} = +50^\circ\text{C}$

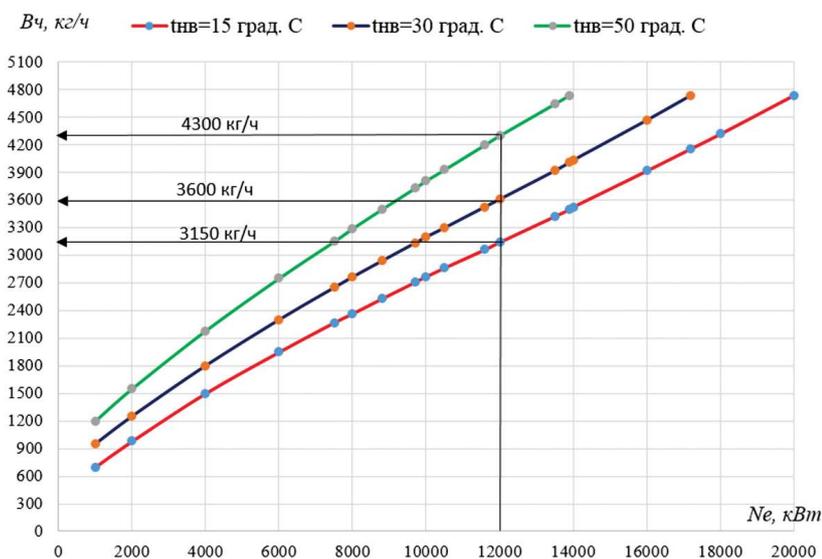


Рис. 6. Изменение часового расхода топлива ГТД М90ФР для различных значений температуры наружного воздуха

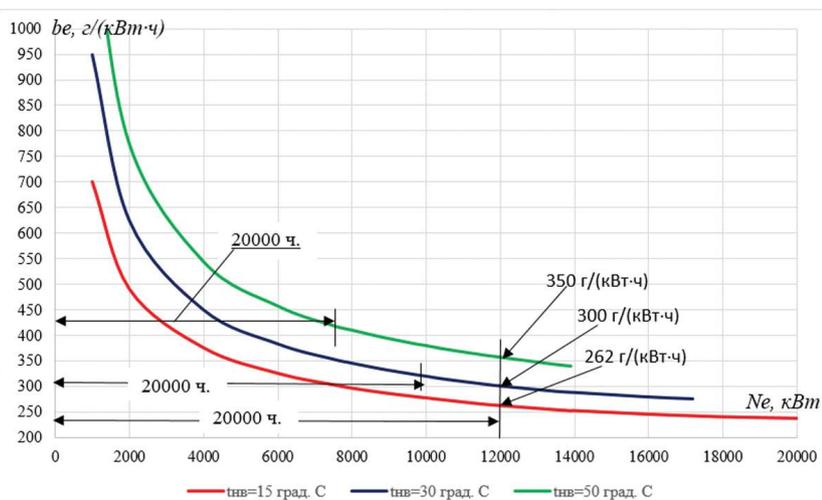


Рис. 7. Изменение удельного расхода топлива ГТД М90ФР для различных значений температуры наружного воздуха

В частности, ПАО «ОДК-Сатурн» рассматривает несколько вариантов разработки перспективного двигателя. Один из них представляет собой развитие семейства морских ГТД на базе ГТД М90ФР [3, 4] путем добавления одной или двух нулевых ступеней компрессора низкого давления к базовому и форсированием параметров рабочего тела, таким образом можно создать линейку ГТД мощностью соответственно 25 и 31,5 МВт (см. рис. 8).

Характеристики различных вариантов модернизации базового ГТД М90ФР представлены в табл. 1 [3, 4].

Из анализа характеристик, представленных в табл. 1, следует, что форсированием параметров рабочего тела по температуре в пределах 35–140 К и увеличением степени повышения давления в компрессоре с $\pi_k = 18,85$ до $\pi_k = 29,19$, а также совершенствованием компрессора низкого давления с добавлением одной или двух нулевых ступеней можно разработать линейку корабельных ГТД мощностью от 20 до 31,5 МВт включительно [3, 4].

Принципиально новой концепцией создания перспективного двигателя, анонсированной ПАО «ОДК-Сатурн» [3, 4], является разработка перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью до 35 МВт (рис. 9). При ее реализации используются отдельные отработанные технологии по двигателю М70ФРУ, изделию 30 (авиационный двигатель для самолета 5-го поколения СУ-57) и ГТД-110М. Характеристики перспективного двигателя представлены в табл. 2.

Характеристики перспективного ГТД МГТД-35 свидетельствуют о том, что он не должен уступать уже созданным зарубежным аналогам по агрегатной мощности и КПД.

Таким образом, использование в схеме типа М7 (см. рис. 7) форсажных ГТД М90ФРМ мощностью 25 МВт позволит увеличить суммарную мощность ГЭУ до 70 МВт, что соответствует скорости полного хода 31 уз, а использование перспективных ГТД 5-го поколения МГТД-35 мощностью 35 МВт достичь скорости полного хода более 32 уз.

Кроме того, применение более мощных ГТД по сравнению с базовым М90ФР позволит нивелировать противоречие, обозначенное выше (см. рис. 1 – 7), выражающееся в том, что режимы работы ГТД с относительно высокой экономичностью (на нагрузках более 60% от номинальной) существенно ограничены ускоренным исчерпанием ресурса. Использование ГТД большей мощности позволит существенно расширить диапазон режимов его работы с относительно высокой экономичностью (рис. 10).

Базовый ГТД М90ФР 20 МВт Схема 9+10/1+1+4

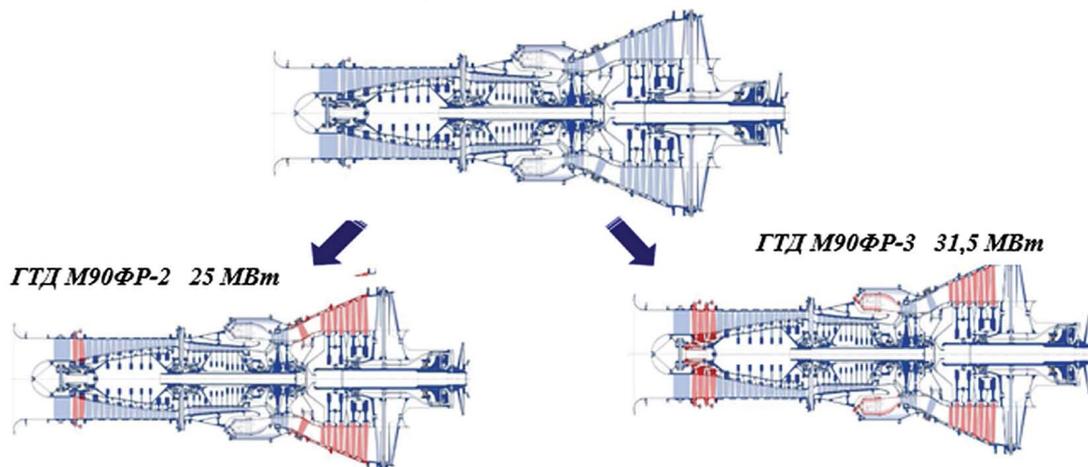


Рис. 8. Варианты модернизации базового ГТД М90ФР

Характеристики вариантов усовершенствованных ГТД М90ФР

Таблица 1

Характеристика ГТД	М90ФР $N_{ном}$	М90ФРМ Максимальный (суперсплавы)	М90ФРМ1 С нулевой ступе- нью $N_{ном}$	М90ФРМ2 С двумя доп. ступе- нями, $N_{ном}$	М90ФРМ3 Максимальный (суперсплавы)
Мощность N_e , МВт	20	25	25	25	31,5
КПД η_p	0,347	0,359	0,359	0,357	0,378
Удельный расход топлива b_e , г/(кВт·ч)	0,243	0,234	0,234	0,236	0,223
Степень повышения давления π_k	18,85	21,1	23,75	24,63	29,19
Расход воздуха G_a , кг/с	68,86	74,5	83,8	89,0	101,1
Температура газа перед турбиной T_p , К	1461	1561	1503	1480	1597
Частота вращения, об/мин:					
СТ	3450	3716	3716	3716	4118
КНД	7132	7600	7384	7211	7600
КВД	9019	9312	9274	9038	9398

Сравнительные характеристики корабельных ГТД

Таблица 2

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

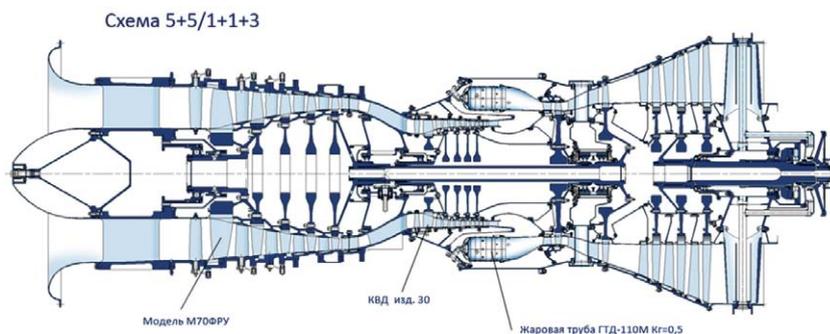


Рис. 9. Разрез перспективного корабельного ГТД 5-го поколения МГТД-35 (проект ПАО «ОДК-Сатурн»)

Как следует из анализа рис. 10, режимы работы ГТД с приемлемой экономичностью ($b_e \approx 255 - 275$ г/(кВт·ч), где нет ограничений по ускоренному истощению ресурса, соответственно составляют:

- для МГТД-35 – в диапазоне нагрузок 10 000 – 21 000 кВт;
 - для ГТД М90ФРМ – в диапазоне нагрузок 10 000 – 15 000 кВт.
- Указанный способ расширения диапазона нагрузок ГТД без ускоренного

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

Следовательно, в настоящее время назрела острая необходимость развития линейки корабельных ГТД разработки ПАО «ОДК-Сатурн» с целью существенного увеличения (форсирования) мощности базового ГТД М90ФР до значений 25 МВт и параллельной разработки перспективного ГТД 5-го поколения мощностью не менее 35 МВт, что соответствует зарубежному опыту ведущих энергомашиностроительных корпораций.

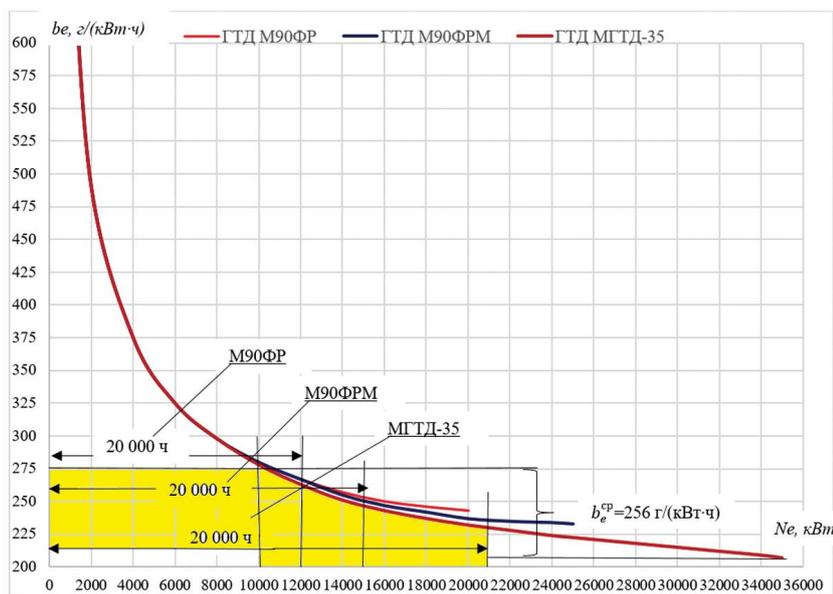


Рис. 10. Изменение удельного расхода топлива ГТД М90ФР, М90ФРМ и МГТД-36 в зависимости от нагрузки

ВЫВОДЫ

Обеспечение высокой топливной эффективности в широком диапазоне скоростей хода перспективных многоцелевых надводных кораблей с газо-газотурбинной энергетической установкой представляет собой сложную, практически нереализуемую задачу.

Существенные ограничения по ресурсу газотурбинных двигателей на нагрузках более 60% от номинальной весьма серьезно ограничивают ТТХ кораблей, связанные с обеспечением скоростей полного хода в 28 уз и более. Указанные ограничения усугубляются при плавании корабля в тропических условиях, когда температура окружающего

воздуха поднимается существенно выше расчетной – 150 °С. Выходом из сложившейся ситуации является проведение в ПАО «ОДК-Сатурн» ОКР по форсированию мощности базового отечественного ГТД М90ФР до значений 25 МВт и параллельной разработки перспективного ГТД 5-го поколения мощностью 35 МВт и более.

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. Хализов А. Перспективный фрегат проекта F-125 ВМС Германии // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – №5. – С.67–74.
3. Чутин П.В. Российский газотурбинный двигатель М90ФР. – Доклад на секции НТО им. А.Н. Крылова, СПб., 21.03.2018 г.
4. Чутин П.В. Результаты работы по импортозамещению украинских морских ГТД. – Доклад на Межотр. науч.-практ. конф. «ВОКОР-2018». ВУНЦ ВМФ «НИИ КиВ», СПб., 2018.
5. Газотурбинный двигатель М90ФР. Технические условия. А91108201 ТУ. ■

В России в 2017 г. была принята программа [1] внедрения цифровых технологий в различные области промышленного производства. К важным направлениям цифровизации в энергетике относится построение цифровых двойников. В нашем случае объектом математического моделирования является энергетическая установка на основе электрохимического генератора (ЭУ с ЭХГ). С целью определения динамических характеристик ЭУ, необходимо математически описать физические процессы, происходящие при ее работе. Подобный тип энергоустановки рассмотрен применительно к использованию на морских подводных объектах (МПО).

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭХГ

Схематически моделируемый объект с функциональными связями составляющих его блоков изображен на рис. 1. В данном примере рассматривается ЭХГ водородно-кислородного типа как наиболее часто используемый на МПО [2].

Процесс математического моделирования реализуется с использованием модульного принципа построения программ, в соответствии с которым модель объекта разбивается на ряд функциональных блоков: топливный элемент в

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА

А.Н. Дядик, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой,
А.В. Юшков, аспирант,

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет,
контакт. тел. +7 (911) 299 9736, +7 (950) 000 0300

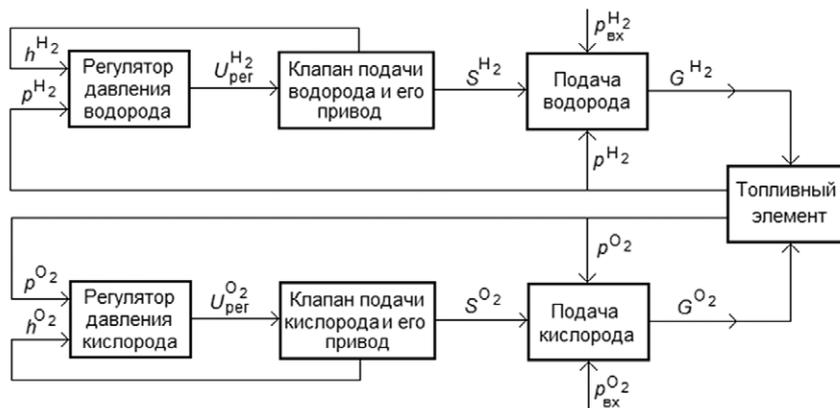


Рис. 1. Взаимосвязь функциональных блоков математической модели

составе ЭХГ; регулятор давления водорода; регулятор давления кислорода; клапан подачи водорода и его привод; клапан подачи кислорода и его привод; модель подачи водорода; модель подачи кислорода.

На рис. 1 приняты следующие обозначения: U^{H_2} – управляющий выходной сигнал регулятора давления водорода; U^{O_2} – управляющий выходной сигнал регулятора давления кислорода; h^{H_2} – относительное перемещение привода

клапана подачи водорода; h^{O_2} – относительное перемещение привода клапана подачи кислорода; S^{H_2} – площадь открытия (сечения) клапана подачи водорода; S^{O_2} – площадь открытия (сечения) клапана подачи кислорода; p^{H_2} – давление водорода в газосодержащей части для водорода; p^{O_2} – давление кислорода в газосодержащей части для кислорода; $p_{вх}^{H_2}$ – давление подаваемого водорода (перед клапаном); $p_{вх}^{O_2}$ – давление подаваемого кислорода (перед клапаном); G^{H_2} – массовый расход водорода через клапан подачи водорода; G^{O_2} – массовый расход кислорода через клапан подачи кислорода.

При разработке математических моделей были приняты следующие допущения:

1. Газы, находящиеся в системе и подаваемые в нее, полностью однородны во всем занимаемом ими объеме, т.е. в каждой точке этого объема имеют одинаковый состав, давление и температуру.

2. Время распределения теплоты газа по занимаемому им объему не учитывается.

3. Продукты химической реакции, протекающей в ЭХГ, не смешиваются с топливными компонентами и отводятся из топливного элемента мгновенно.

4. Теплота, выделяющаяся в процессе электрохимической реакции в ЭХГ, не учитывается.

5. Подаваемые в систему газы приняты чистыми (без примесей).

6. К газам в системе в целом применимо уравнение состояния идеального газа.

7. Взаимодействие газов со стенками каналов, элементами клапанов и стенками топливного элемента не учитывается.

8. Термодинамические процессы адиабатные.

9. Датчики давления и положения приводов клапанов приняты безынерционными.

10. Задержки в реакции приводов на изменение управляющих сигналов отсутствуют.

МОДЕЛЬ «ТОПЛИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ»

Модель имитирует работу топливных элементов в составе ЭУ с ЭХГ. Моделируемые параметры:

- давление в газосодержащей части для водорода (от клапана подачи водорода до поверхности электрода топливного элемента в составе ЭХГ);
- давление в газосодержащей части для кислорода (от клапана подачи кислорода до поверхности электрода топливного элемента в составе ЭХГ, включая объем теплообменника);
- температура водорода;
- температура кислорода.

Объем газосодержащей части для

водорода принят в количестве 10% от объема топливных элементов ЭХГ.

Аналогично рассчитан объем газосодержащей части для кислорода, за исключением того, что к рассчитанному объему добавлен ориентировочный объем теплообменника в тракте подачи кислорода.

Давления газов рассчитываются по уравнению состояния идеального газа, в частности, по уравнению Клапейрона–Менделеева:

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (1)$$

где p – давление газа; V – объем, занимаемый газом; R – универсальная газовая постоянная; T – температура газа; m – масса газа; M – молярная масса вещества.

Из формулы (1) получаем выражение для расчета давления p :

$$p = \frac{m}{MV} RT. \quad (2)$$

Моделирование температуры газов выполняется с учетом закона сохранения энергии

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (3)$$

где Q – суммарное количество теплоты газа; Q_1 – количество теплоты газа в объеме газосодержащей части; Q_2 – количество теплоты газа, поступившего в объем газосодержащей части.

Получим выражение для расчета температуры в процессе работы установки.

Количество теплоты определяется по формуле

$$Q = cm\Delta T, \quad (4)$$

где c – удельная теплоемкость газа; m – масса газа; ΔT – изменение температуры газа.

Подставив формулу определения количества теплоты (4) в формулу (3) и приняв удельную теплоемкость газа неизменной, получим выражение для расчета температуры на каждом шаге интегрирования:

$$cm(T_2 - T_0) = cm_1(T_1 - T_0) + cm_2(T_{вх} - T_2), \quad (5)$$

где c – удельная теплоемкость; m – суммарная масса газа ($m = m_1 + m_2$); m_1 – масса газа в объеме до поступления m_2 ; T_0 – исходное значение температуры газа в газосодержащей части; T_1 – установившееся значение температуры газа до поступления m_2 ; T_2 – установившееся значение температуры для суммарной массы газа m ; $T_{вх}$ – температура подаваемого газа.

Произведя необходимые преобразования, получаем

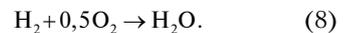
$$T_2 = \frac{mT_0 + m_1(T_1 - T_0) + m_2T_{вх}}{m_1 + m_2}. \quad (6)$$

Масса газа, поступающего в объем газосодержащей части, определяется по формуле

$$m = \int G dt, \quad (7)$$

где m – масса газа, поступающего в объем газосодержащей части; G – расход газа через клапан; t – время.

Отток теплоты от системы осуществляется за счет отвода теплоты, содержащейся в массе газа, которая вступает в реакцию химических компонентов в ЭХГ. Суммарное уравнение химической реакции, протекающей в водородно-кислородном ЭХГ, имеет вид



Моделирование массы воды H_2O , получаемой в ЭХГ, выполняется суммированием масс, вступивших в реакцию (8) химических компонентов:



где mH_2 – масса вступившего в реакцию водорода; mO_2 – масса вступившего в реакцию кислорода; mH_2O – масса воды, полученной в ходе протекания реакции (9).

МОДЕЛЬ «РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ ВОДОРОДА»

Регулятор давления водорода осуществляет управление клапаном, который регулирует давление в объеме газосодержащей части водорода. Был выбран пропорциональный регулятор с обратной связью по показаниям датчика давления и датчика положения привода клапана.

Уравнение регулятора имеет вид

$$U_{пер} = k_n \Delta p, \quad (10)$$

где k_n – коэффициент усиления; Δp – рассогласование заданного и фактического значений давления; $U_{пер}$ – управляющий выходной сигнал регулятора.

Рассогласование заданного и фактического значений давления Δp определяется по формуле

$$\Delta p = p_3 - p, \quad (11)$$

где p_3 – заданное значение давления ($p_3 = 0,5$ МПа [2]); p – фактическое значение давления, получаемое по показаниям датчика давления.

Зона нечувствительности регулятора определена в 1% от p_3 . Таким образом, если $|p| < 0,01 p_3$, то $U_{пер} = 0$.

Управляющий выходной сигнал регулятора $U_{пер}$ ограничивается значениями от -1 до $+1$: $-1 < U_{пер} < 1$.

МОДЕЛЬ «РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА»

Регулятор давления кислорода управляет клапаном, который регулирует давление в объеме газосодержащей части кислорода. Был выбран пропорциональный регулятор с обратной связью

зью по показаниям датчика давления и датчика положения привода клапана.

Уравнение регулятора имеет вид, аналогичный уравнению регулятора давления водорода (10).

Рассогласование заданного и фактического значений давления Δp определяется по формуле (11). Заданное значение давления кислорода $p_3 = 0,5$ МПа [2].

Зона нечувствительности регулятора определена в 1% от p_3 . Таким образом, если $|p| < 0,01 p_3$, то $U_{\text{пер}} = 0$.

Управляющий выходной сигнал регулятора $U_{\text{пер}}$ ограничивается значениями от -1 до $+1$: $-1 < U_{\text{пер}} < 1$.

МОДЕЛЬ «КЛАПАН ПОДАЧИ ВОДОРОДА И ЕГО ПРИВОД»

Модель «Клапан подачи водорода и его привод» описывает работу клапана и его привода, а именно изменение площади открытия (сечения) по линейному закону от его относительного перемещения:

$$f = f_{\text{max}} h, \quad (12)$$

где f – текущая площадь открытия; f_{max} – максимальная площадь открытия; h – относительное значение положения привода клапана.

Максимальная площадь открытия клапана подбирается таким образом, чтобы обеспечивалась подача необходимого количества газа при заданных перепадах давления и удовлетворительное качество регулирования.

Относительное значение положения привода клапана h определяется из выражения

$$h = \int_0^1 \text{skor} \cdot dt, \quad (13)$$

где skor – скорость перемещения привода; t – время.

Величина $h = 0$ соответствует закрытому состоянию клапана, $h = 1$ соответствует полностью открытому состоянию клапана.

Скорость перемещения привода в модели задана прямо пропорционально сигналу задания на привод $h_{\text{зад}}$ с ограничением максимальной скорости 10 %/с:

$$h_{\text{зад}} = h + U_{\text{пер}}, \quad (14)$$

$$\Delta h = h_{\text{зад}} - h, \quad (15)$$

$$\text{skor} = \begin{cases} \text{skor}_{\text{max}} \left(\frac{\Delta h}{0,1} \right) \\ \text{при } |\Delta h| \leq 0,1 \\ \text{skor}_{\text{max}} \text{sign}(\Delta h) \\ \text{при } |\Delta h| > 0,1 \end{cases}, \quad (16)$$

где h – относительное значение положения привода клапана; $U_{\text{пер}}$ – управляющий выходной сигнал регулятора; Δh – рассогласование заданного и текущего значений положения привода; skor – скорость перемещения привода; skor_{max} – максимальная скорость привода; $\text{sign}(\Delta h)$ – знак рассогласования заданного и текущего значений положения привода.

МОДЕЛЬ «КЛАПАН ПОДАЧИ КИСЛОРОДА И ЕГО ПРИВОД»

Модель «Клапан подачи кислорода и его привод» описывает работу клапана и его привода.

Построена аналогично модели клапана подачи водорода и его привода с учетом различий в максимальной площади открытия клапана, которая должна обеспечивать подачу необходимого количества газа при заданных перепадах давления и удовлетворительное качество регулирования.

МОДЕЛЬ ПОДАЧИ ВОДОРОДА

Модель подачи водорода позволяет оценить мгновенное значение расхода водорода через сечение клапана при различных перепадах давления.

Перепад давления определяется по формуле Дарси:

$$\Delta p = \xi \frac{w^2 \rho}{2}, \quad (17)$$

где Δp – перепад давления; ξ – коэффициент потерь (коэффициент Дарси); ρ – плотность газа; w – средняя скорость течения.

Средняя скорость течения

$$w = \frac{G}{f \rho}, \quad (18)$$

где G – массовый расход среды, кг/с; f – площадь сечения, м²; ρ – плотность газа, кг/м³.

Подставив соотношение (18) в формулу (17), получим:

$$\Delta p = \xi \frac{G^2}{2 f^2 \rho}. \quad (19)$$

Плотность ρ – величина, обратно пропорциональная удельному объему v :

$$\rho = \frac{1}{v}. \quad (20)$$

Удельный объем определяется из уравнения идеального газа (1) для 1 моля вещества:

$$v = \frac{RT}{p}, \quad (21)$$

где v – удельный объем; R – газовая постоянная; T – температура; p – давление.

Перепад давления Δp определяется из выражения

$$\Delta p = |p_{\text{вк}} - p|, \quad (22)$$

где $p_{\text{вк}}$ – давление газа перед клапаном; p – текущее давление газа в газосодержащей части.

Подставив формулу (20) в формулу (19), получим выражение для определения мгновенного значения массового расхода водорода через сечение клапана:

$$G = f \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\xi v}}. \quad (23)$$

МОДЕЛЬ ПОДАЧИ КИСЛОРОДА

Модель подачи кислорода позволяет оценить мгновенное значение расхода кислорода через сечение клапана РК1 при различных перепадах давления.

Расчет расхода кислорода выполняется по формуле Сен-Венана [2] с учетом различных значений газовых постоянных кислорода и водорода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная имитационная модель работы ЭХГ в составе ЭУ с ЭХГ включает несколько отдельных блоков, описываемых своими математическими моделями, что и входит в понятие цифрового двойника. Его составляющими являются: модель «Топливный элемент», модели регуляторов давления водорода и кислорода, модели клапанов подачи водорода и кислорода и их приводов, модели подачи водорода и кислорода. Полученные математические зависимости в своей основе опираются на основополагающие законы термодинамики и гидромеханики, поэтому правильно описывают физические процессы в оборудовании ЭУ с ЭХГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пронина Е.В. Цифровой двойник в современном производстве // Scientific perspectives 2018. – №1 – С. 58–60.
2. Дядик А.Н., Замуков В.В., Дядик В.А. Корабельные воздухоустановки энергетических установок. – СПб.: Судостроение, 2006. – 424 с. ■

Так называемая «зеленая повестка» обусловила создание судов с полным электродвижением, когда источником энергии являются аккумуляторные батареи и судно не имеет двигателей, работающих на углеводородном топливе (назовем такие суда электрическими). Это малотоннажные суда (длиной не более 30–34 м), предназначенные в первую очередь для работы и перевозки пассажиров в особо уязвимых морских и пресноводных акваториях, входящих, например, в национальные парки. В последнее десятилетие суда данного типа стали составной частью внутригородского транспорта. Расширяется их применение для пассажирских перевозок на прибрежных морских линиях. Пioneрами этого направления являются скандинавские страны.

Для разработчиков судовых двигателей распространённость электропривода открывает новые возможности. В частности, становятся возможными конструктивные решения, обеспечивающие создание такого типа двигателей, как соосные гребные винты противоположного вращения (СГВ). Применение СГВ обеспечивает увеличение КПД двигателя η_D на 10–12% по сравнению с одиночным гребным винтом (ГВ) [1–3]. Это позволяет компенсировать удорожание стоимости пропульсивной установки с СГВ за счет снижения потребления топлива и, кроме того, улучшается обитаемость (благодаря уменьшению шумности и вибрации [4]), повышается безопасность мореплавания за счет улучшения тяговых характеристик двигателя и дублирования элементов пропульсивного комплекса.

Отметим известные результаты модельных исследований гидродинамической эффективности СГВ [1]. Согласно им, за счет улучшения взаимодействия СГВ с корпусом пропульсивный коэффициент η_D может увели-

О ПРИМЕНЕНИИ СООСНЫХ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ С ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ МОЩНОСТИ НА МАЛОТОННАЖНЫХ СУДАХ

А.Р. Тогуняц, канд. техн. наук, инженер,
С.Л. Анчиков, зам. ген. директора,
АО «Научно-производственное предприятие «Морская техника»,
Л.И. Вишневский, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. (812) 327 28 02, +7(921)337 2652

читься до 20% по сравнению с η_D при использовании одиночного ГВ. Еще больший эффект следует ожидать при переходе от двухвальной компоновки пропульсивной установки с одиночными ГВ к одновальной с СГВ [1]. Также представляет интерес предположение о возможном увеличении эффективности переработки мощности (при ограниченном диаметре двигателя) с увеличением осевой протяженности двигателя при эшелонированном расположении более двух ГВ, соосно вращающихся один за другим.

Рассмотрим проекты существующих малотоннажных электрических судов и иных малотоннажных судов, на которых целесообразно использование СГВ, а также технические параметры электропривода СГВ.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАССАЖИРСКИЕ СУДА

В 2020 г. на верфи «Эмперимум» (г. Отрадное Ленинградской области), входящей в группу компаний «НПК «Морсвязьавтоматика», был построен пассажирский электрический катамаран «Ecovolt 2.0» [5], а в 2022 г. по заказу компании ООО «Водоход» – скоростной пассажирский электрический катамаран «Eco cruiser» (рис. 1) [6]. В дальнейшем «НПК «Морсвязьавтоматика» планирует расширить пере-

чень электрических судов [5]: разработаны проекты «Eco bus» ($L_{OA} = 21,0$ м, $V_s = 12$ уз, $P_s = 2 \times 134$ кВт), «Eco volt 3.0» ($L_{OA} = 22,5$ м, $V_s = 15$ уз, $P_s = 2 \times 200$ кВт), «Cityvolt» ($L_{OA} = 19,9$ м, $V_s = 11$ уз, $P_s = 2 \times 45$ кВт). Судно проекта «Eco volt 3.0», предназначенное для эксплуатации в южных широтах, будет оснащено солнечными батареями.

По заказу Министерства промышленности и торговли Калининградским техническим университетом выполнена ОКР «Создание среднемагистрального автомобильно-пассажирского экологически чистого паром на электроходу» (шифр «Эко-Паром»). Паром предназначен для работы в Балтийском море на линии Балтийск–Балтийская коса. Технический проект паром (пр. 19411) разработан АО «Нордик Инжиниринг» (рис. 2) [7]. Строитель паром – АО «ПСЗ «Янтарь» с участием ООО «Ушаковские верфи» [8]. Главные размеры судна известны: максимальная длина $L_{OA} = 36$ м, ширина $B = 10$ м, осадка $T = 1,8$ м. Данные о мощности электропривода в открытом доступе отсутствуют, однако, исходя из главных размеров корпуса и принятого в морской практике скоростного режима паромов такого типа, можно предположить, что мощность не будет превышать 400 кВт.



Рис. 1. Электрические суда, построенные на верфи «Эмперимум»: а – «Ecovolt 2.0» (длина наибольшая $L_{OA} = 22,5$ м, скорость $V_s = 15$ уз, мощность двигателей $P_s = 2 \times 200$ кВт); б – «Eco cruiser» ($L_{OA} = 31,3$ м, $V_s = 22$ уз, $P_s = 2 \times 400$ кВт)



Рис. 2. Паром пр. 19411 ($L_{\text{ОА}} = 36 \text{ м}$, $B = 10 \text{ м}$, $T = 1,8 \text{ м}$)



Рис. 3. Паром «Ампер» ($L_{\text{ОА}} = 80 \text{ м}$, $B = 21 \text{ м}$, $T = 3,0 \text{ м}$)

Положительный опыт использования электрических паромов в прибрежных водах продемонстрировала Норвегия. Первый паром «Ампер» (рис. 3) был построен с участием Siemens на верфи Fjellstrand в 2015 г. [9]. Инициатор строительства парома «Ампер» – министерство транспорта и коммуникаций Норвегии. Перед судостроителями была поставлена задача создать судно для экологически чистого паромного сообщения между берегами фьорда. Паром предназначен для перевозки 360 пассажиров и 120 автомобилей. Мощность, передаваемая двигателям от электродвигателей (питающихся от литий-ионных аккумуляторов) $P_s = 2 \times 450 \text{ кВт}$, скорость экономического хода $V_s \approx 10 \text{ уз}$, максимальная скорость $V_{\text{макс}} \approx 14 \text{ уз}$, время перехода – около 20 минут.

В 2022 г. в прибрежной зоне Норвегии работало более 30 электрических паромов, в том числе новый паром «Vasto Elektrik» ($L_{\text{ОА}} = 139 \text{ м}$), рассчитанный на перевозку 600 пассажиров и 200 автомобилей [10]. Он построен в Турции на верфи Sefine. Аккумуляторные батареи и системы быстрой зарядки парома изготовлены фирмой Siemens Energy на заводе в Тронхейме (Норвегия). Эксплуатируется паром судостроительной компанией Bastofosen, которая ожидает поставку еще двух паромов этого проекта.

СУДА С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ ВАТЕРЛИНИИ

К малотоннажным судам, на которых целесообразно использовать СГВ с электрической передачей мощности, относятся суда с малой площадью ватерлинии (СМПВ, Small Water-plane Are Twin Hull, SWATH). СМПВ являются скоростными: их скорость может достигать 25–30 уз [11].

Первые СМПВ были построены в начале 70-х гг. Наиболее распространенным типом СМПВ является дуплус, который представляет собой двухкорпусное судно с одной длинной стойкой на каждом подводном корпусе. Надводный корпус и палуба СМПВ опираются на стойки подводных корпусов (рис. 4).

Примером СМПВ с двумя аутригерами может служить лоцманское судно (рис. 5).

Подводные корпуса СМПВ представляют собой, как правило, гондолы сигарообразной формы большого удлинения (см. рис. 4) и идеально подходят для размещения электропривода СГВ.

Интересен ряд проектов судов с аутригерами (САР) АО «Зеленодольское проектно-конструкторское бюро» [12]. Основной корпус САР характеризуется увеличенной относительной длиной, а длина бортовых аутригеров

значительно меньше длины основного корпуса. В них размещается главная энергетическая установка с ГВ. Такая компоновка позволяет снизить уровень шума от работающих двигателей (улучшить обитаемость судна), повысить его маневренность.

Питание гребных электродвигателей СГВ в принципе не отличается от питания электродвигателей одиночных ГВ. Дополнением при использовании СГВ становится секция преобразователя, обеспечивающая пуск, реверс и независимое управление частотой вращения каждого из гребных электродвигателей СГВ. При использовании аккумуляторов рациональным для конструкции СМПВ и САР является их размещение в гондолах (по аналогии с электрическими торпедами) или в корпусах аутригеров.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СГВ

Рассмотренные примеры позволяют заключить, что для малотоннажных судов величина базовой мощности, на которую необходимо разрабатывать электропривод, равна 300 кВт.

Определение технических параметров электропривода начнем с анализа диапазона соответствующих диаметров СГВ. Для получения сис-



Рис. 4. Корабль акустического дозора типа СМПВ (дуплус) [11]



Рис. 5. Лоцманское судно СМПВ с двумя аутригерами [11]

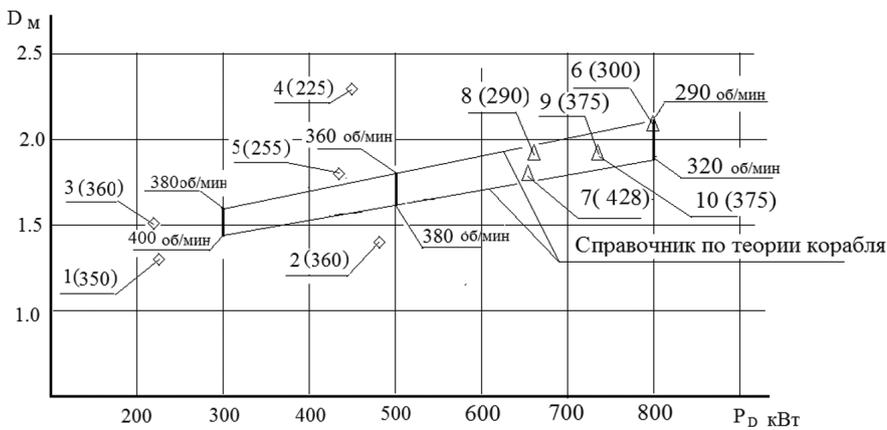


Рис. 6. Диапазоны диаметров гребных винтов D в зависимости от потребляемой ими мощности P_D (в скобках указана частота вращения на полной скорости хода, об/мин)

1 – малый рыболовный траулер (МРТ) «Сокол», $D=1,3$ м, 2 – малый траловый бот «Селга», $D=1,4$ м, 3 – МРТ «Балтика», $D=1,5$ м, 4 – малый креветководный траулер «Леда», $D=2,3$ м, 5 – МРТ «Гируляй», $D=1,8$ м, 6 – средний рыболовный траулер (СРТ) «Саргасса», $D=2,03$ м, 7 – рыболовное морозильное судно «Каспий», $D=1,8$ м, 8 – рыболовное морозильное судно «Зеленодольск», $D=1,9$ м, 9 – жиромучное судно «Днепр», $D=1,9$ м, 10 – СРТ (морозильный) «Железный поток», $D=1,9$ м

тематических данных рассмотрим их в диапазоне мощности от 300 до 800 кВт. Учтем отсутствие принципиальных отличий в определении величин диаметров одиночных ГВ и СГВ при их расположении за корпусом судна. Это позволяет оценить диаметры СГВ по данным, применяемым для ГВ в зависимости от мощности, потребляемой двигателем на полном ходу P_D [13].

На рис. 6 на основе рекомендаций, представленных в [13], показана зона наиболее вероятных величин диаметров D ГВ в функции от потребляемой ими мощности P_D (см. область между линиями), а также данные о реальных проектах рыболовных судов. Малые и средние рыболовные суда выбраны в качестве типовых, так как по их проектам существует исчерпывающая техническая информация [14], достаточная для выполнения расчетов.

Из приведенных зависимостей (см. рис. 6) следует, что для судов рассматриваемых типов мощностью 300 кВт с наибольшей вероятностью соответствуют оптимальные ГВ диаметром 1,4–1,6 м.

Для оценки необходимых для конструкторских проработок эксплуатационных значений суммарных (для обоих винтов) упоров T_Σ и моментов Q_Σ , а также диапазона частот вращения СГВ на рабочих режимах выполнен расчет ходкости типового судна по программе [15]. В качестве типового судна выбран малый рыболовный траулер (МРТ) типа «Балтика», – см. ниже [14]. В расчете использованы диаграммы серии СГВ с суммарным дисковым отношением $(A_E/A_0)_\Sigma \approx 1,0$ [16].

Поясним данные результаты расчетов, представленные выше. Опти-

мальным для МРТ типа «Балтика» является вариант СГВ диаметром 1,5 м

Главные размерения и характеристики МРТ типа «Балтика»

Геометрические характеристики, их размерность	Значение
Длина между перпендикулярами L_{pp} , м	22,01
Длина/ширина по ватерлинии L/B , м	23/6,8
Осадка носом/кормой T_f/T_a , м	1,90/2,84
Водоизмещение ∇ , м ³	170
Абсцисса центра величины X_c , м	-0,7
Подъем центра винта над ОЛ Z_v , м	0,6
Отношение L/B	3,38
Отношение B/T	2,87
Коэффициент общей полноты (по L_{pp}) C_B	0,48
Диаметр ГВ D , м	1,5

Таблица

Результаты расчетов ходкости МРТ типа «Балтика» и эксплуатационных параметров СГВ суммарной мощностью 300 кВт

Шаговое отношение P/D	Суммарный момент Q_Σ , кгм (кНм)	Суммарный упор T_Σ , кг (кН)	Частота вращения n , об/мин	Диаметр D , м	Скорость V_s , уз
1,047	1052 (10,32)	3921 (38,4)	264	1,5	11,2
1,047	1338 (13,12)	5644 (55,37)	218	1,5	0
1,40	1644 (16,13)	5644 (55,37)	178		
0,8	1074 (10,54)	5751 (56,42)	271		
1,40	1828 (17,93)	5878 (57,66)	160	1,6	0
0,8	1198 (11,76)	6009 (58,95)	244		
1,4	1465 (14,37)	5384 (52,8)	200	1,4	0
0,8	957 (9,39)	5488 (53,8)	305		

с шаговым отношением $P/D = 1,047$ и номинальной частотой вращения $n = 264$ об/мин. При суммарной потребляемой СГВ мощности 300 кВт максимальная скорость судна составит 11,2 уз. Для определения границ эксплуатационных параметров СГВ (следовательно, и технических характеристик электропривода), соответствующих характерному диапазону диаметров во всем диапазоне шаговых отношений СГВ данной серии, достаточно рассмотреть швартовный режим (см. таблицу).

Данные таблицы (выделены полужирным курсивом) позволяют построить универсальную ограничительную зависимость системы управления электроприводом СГВ мощностью 300 кВт малотоннажных судов (рис. 7).

Очевидно, что с учетом движения судна в условиях ветра и волнения система управления должна предусматривать компенсацию возникающих кратковременных моментной пе-

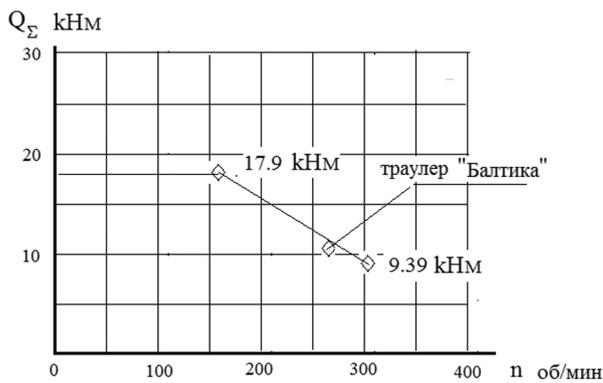


Рис. 7. Универсальная ограничительная зависимость для электропривода СГВ мощностью 300 кВт малотоннажных судов

регрузки на валах СГВ или разгона их частоты вращения сверх полученных расчетных значений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СГВ на электрических судах – новое поколение пропульсивных установок с высокой энергетической эффективностью и высоким уровнем экологической безопасности. Сочетание этих качеств особенно важно для малотоннажных судов при плавании в ограниченных и потому особо уязвимых в отношении загрязнения акваториях: морских заливах, озерах и реках.

Технические параметры СГВ определяют целесообразность их применение на судах, в том числе и малотоннажных, с любым вариантом генерацией электроэнергии. Возможны следующие конструктивные решения (проработки АО «НПП «Морская техника»):

- размещение гребных электродвигателей в корпусе судна, а СГВ непосредственно за корпусом судна (что соответствует классической компоновке пропульсивной установки);
- винторулевая колонка (ВРК) с СГВ и размещением погружных гребных электродвигателей в гондоле колонки;
- размещение гребных электродвигателей в монтажном съемном модуле, формирующем в присоединенном к судну положении плавные обводы корпуса, например кормового бульба [17], с установкой СГВ на валах модуля.

Для ВРК с СГВ важным параметром является диаметр гондолы D_g , в которой размещаются гребные электродвигатели. Для мощности 300 кВт максимально допустимый относительный диаметр гондолы (по данным для Azipod CO [18]) $D_g/D = 0,55$ или $D_g < 0,77$ м.

Создание пропульсивного комплекса с электрической передачей мощности 300 кВт на СГВ для малотоннажных судов представляет в настоящее время интерес, благодаря следующему:

- наличию практического опыта разработки и применения электроприводов данной мощности, в том числе в погружном исполнении, с питанием от судовой сети как постоянного, так и переменного тока;
- многообразию технических требований, предъявляемых к двигателям судов данного типа;
- возможности отработки решений для создания аналогичных установок большей мощности для судов среднего и большого водоизмещения.

Можно уверенно прогнозировать, что в дальнейшем (благодаря «зеленой повестке») электродвижение будет распространяться на суда все большего водоизмещения. При этом очевидным является ограничение возможности полного электродвижения с увеличением мощности судовой пропульсивной установки и дальности рейса. В рамках задачи снижения углеродного следа перспективным для отечественной промышленности оказывается создание судовых пропуль-

сивных систем, включающих газовую турбину, работающую на сжиженном природном газе, электрогенератор и электропривод движителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воеводская Е.Н., Турбал В.К. Перспективы повышения ходовых качеств быстроходных транспортных судов // Вопросы судостроения. – Сер.: Проектирование судов. – СПб.: ЦНИИ «Румб», 1977. – Вып. 15.
2. Капранцев С.В., Сыркин Е.Н. Особенности проектирования соосных гребных винтов противоположного вращения для скоростных судов // Тр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 1996. – Вып. (2) 286.
3. Тогуляц А.Р., Анчиков С.Л., Вишневецкий Л.И. Соосные гребные винты и двухступенчатые лопастные движители // Морской вестник. – 2022. – №2 (82). – С. 13–18.
4. In-depth. – Published by Rolls-Royce pl. – 2001. – Spring. – Issue №.2. – P. 14–15.
5. <https://emperium.ru>
6. <https://vodohod.com/about/news/ekohod>
7. <https://nordic-kb.ru>
8. <https://shipyard-yantar.ru/2021/06/25/burevestnik>
9. <https://en.wikipedia.org/MVAmpere>
10. <https://renen.ru/v-norvegii-vveli-v>
11. Дубровский В.А. Главное о судах с малой площадью ватерлинии // Тр.Крыловского ГИЦ. – 2021. – Т.3. – №397.
12. <https://zpkb.com/our-projects/innovatsionnye-proekty/>
13. Справочник по теории корабля / Под ред. Я.И.Войткунского. – Т.1. – Л.: Судостроение, 1985, с.605.
14. Флот рыбной промышленности: Справ. типовых судов. – М.: Транспорт, 1990.
15. Разработка программы прогноза ходовых качеств морских транспортных и рыбопромысловых судов / Институт машиноведения им. А.А. Благонравова АН СССР. – Л., 1990.
16. 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.
17. Бедкер В.Ф., Косильников В.И., Тогуляц А.Р. Кормовая оконечность судна. Патент № 2154590. Дата публикации 20.08.2000.
18. Тогуляц А.Р., Анчиков С.Л., Вишневецкий Л.И. О технических требованиях к электрической передаче мощности на соосные гребные винты противоположного вращения // Морской вестник. – 2022. – №1(81). – С. 43–48. ■

Гребной винт при всех своих преимуществах ограничен в применении в связи с громоздкостью и сложностью конструкции. Например, его сложно применять в снаряжении для подводного плавания. На скоростных режимах гребной винт имеет проблемы, связанные с кавитацией на лопастях и шумом [1–2]. Впрочем, проблемы с кавитацией имеет и движитель в виде машущего крыла, колеблющегося в профилированной насадке [3]. Дополнительная сложность гребного винта состоит в том, что различным скоростям движения при одной и той же частоте вращения винта соответствуют различные установочные углы лопастей, дающие оптимальные характеристики. Это приводит к необходимости использования винтов изменяемого шага усложненной конструкции, требующих применения отдельной системы контроля и управления шагом [4–6]. Известные технические решения по автоматическому регулированию установочного шага лопастей винта механизмом его втулки, как правило, используют зависимость инерционных сил от частоты оборотов [7–9], однако для такого авторегулирования приходится мириться с переменной частотой вращения двигателя.

Кроме того, поскольку угол атаки каждого сечения по радиусу лопасти винта обусловлен наложением взаимно перпендикулярных скоростей вращения и набегающего потока, потребная разница установочных углов лопасти у комля и у законцовки винта меняется в зависимости от скорости движения, как это показано на рис. 1. Соответственно, условия обтекания рабочей части винта оказываются оптимальными только при определенной скорости.

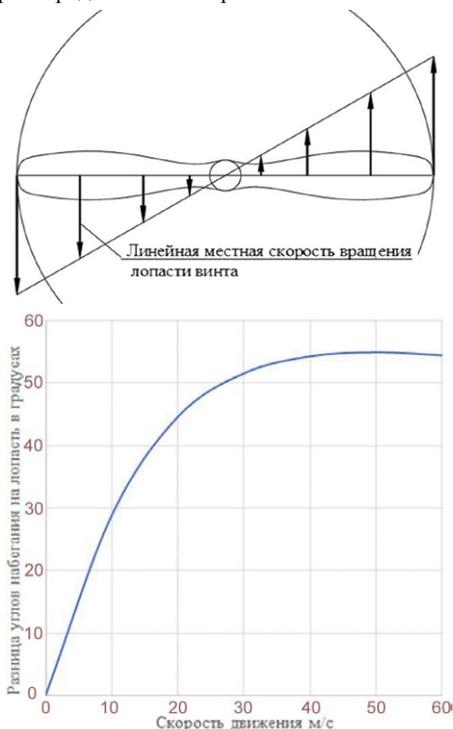


Рис. 1. Разница углов набегающего потока у комля и на краю лопасти винта, вращающегося с частотой 1500 об/мин, в зависимости от скорости движения

Плавниковый движитель, использующийся для подводного и скоростного плавания, менее подвержен кавитации и не имеет присущих винту проблем, вызванных круткой лопастей по радиусу (см. рис. 1). Однако и он требует изменения установочного угла при изменении скорости движения – на малых скоростях эффективный гребок делается с сильно отклоненной несущей плоскостью (лопастью), но по мере увеличения ско-

САМОСТАБИЛИЗИРУЮЩИЙСЯ ЛОПАСТНОЙ ДВИЖИТЕЛЬ

Ю. В. Швед, ст. преподаватель ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт» (Национальный исследовательский университет), контакт. тел. +7 (903) 661 6141, yuriy-shved@mail.ru

рости движения угол наклона лопастей должен уменьшаться (рис. 2) [10].

Положение лопасти на малой скорости продольного движения



Положение лопасти на большой скорости продольного движения

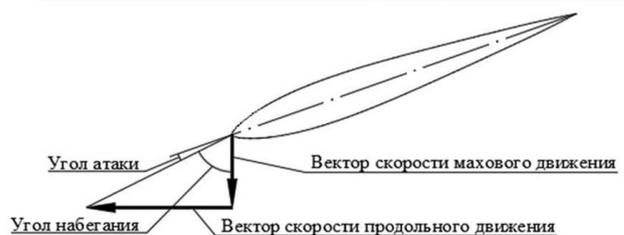


Рис. 2. Изменение требуемого углового положения лопасти, совершающей рабочий ход: а – положение лопасти на малой скорости продольного движения, б – то же на большой скорости

Попытки решить эту проблему при создании плавникового движителя обычно сводятся к установке несущих плоскостей на подпружиненных или упругих рычагах, например, как предложено в изобретениях [11–17] или как используется в ластах торговой марки «Scubapro Seawing Nova Fin», либо к установке лопастей на оси с ограничителем поворота, как предложено, например, в изобретениях [18–22]. В первом случае при неизменном усилии на ласт пружина дает изгиб на одинаковый угол, во втором случае ограничитель устанавливает лопасть также на один и тот же угол вне зависимости от скорости движения. То есть все эти технические решения не позволяют сделать плавниковый движитель эффективным на всех эксплуатационных режимах.

Исключение – попытка заставить движущую плоскость стабилизироваться по потоку самостоятельно, как это делает несущая система самолета. Рассмотрим, какие условия необходимо для этого соблюсти. Пусть движитель состоит из двух лопастей, связанных друг с другом, как это показано на схеме рис. 3.

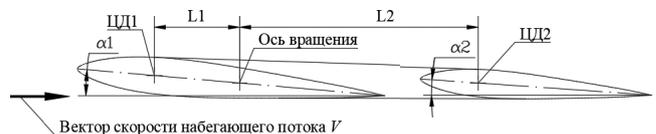


Рис. 3. Схема расположения крыльев автостабилизирующей несущей системы

Обозначим точками ЦД1 и ЦД2 центры приложения равнодействующих гидродинамических сил (центры давления) лопастей 1 и 2 соответственно. Для упрощения примем, что профили лопастей симметричны и их центры давления рас-

полагаются на линии четверти хорд профилей. На эффективных, достаточно малых углах атаки коэффициент подъемной силы C_{ya} растет прямо пропорционально углу атаки α , в общем случае разном у лопастей 1 и 2 (обозначим его α_1 и α_2 соответственно), поэтому C_{ya} лопастей можно выразить через их производные по углу атаки $C_{ya}^\alpha : C_{ya} = C_{ya}^\alpha \cdot \alpha$. Обозначим также площади лопастей как S_1 и S_2 . Для устойчивого состояния системы необходимо равенство моментов подъемных сил лопастей 1 и 2 относительно оси вращения. При этом надо учитывать скос потока за передней лопастью, который по линейной теории также пропорционален углу атаки и с достаточной степенью приближения может быть учтен по формуле $\delta = \frac{C_{ya}^\alpha}{\pi \cdot \lambda}$, где λ – удлинение лопасти 1. Запишем условие равенства моментов:

$$S_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya1}^\alpha \cdot \alpha_1 \cdot L_1 = S_2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya2}^\alpha \cdot \left(\alpha_2 - \frac{C_{ya1}^\alpha \cdot \alpha_1}{\pi \cdot \lambda} \right) \cdot L_2.$$

После сокращений и очевидных преобразований получим

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{S_2}{S_1} \cdot \frac{C_{ya2}^\alpha}{C_{ya1}^\alpha} \cdot \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} - \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda} \right).$$

Или для выбора углов при фиксированных плечах L_1 и L_2

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{L_1}{L_2} \cdot \frac{C_{ya1}^\alpha}{C_{ya2}^\alpha} + \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda}.$$

При повороте несущей системы на угол $\Delta\alpha$ как лопасть 1, так и лопасть 2 получают одинаковое приращение установочного угла атаки, а значит, в выражении $\frac{\alpha_2 \cdot \Delta\alpha}{\alpha_1 \cdot \Delta\alpha}$ приращения этого угла сократятся, и балансировочное отношение останется неизменным.

Итак, для системы из двух лопастей можно одобрить L_1 и L_2 так, чтобы лопасти выставились на заданный угол атаки. Но при этом выбранное положение должно быть устойчивым. Иными словами, при действии возмущения, увеличившего угол набегания потока на $\Delta\alpha$, система должна стремиться уменьшить свой угол атаки и, наоборот, при уменьшении угла набегания система должна стремиться свой угол атаки увеличить. Как этого добиться?

Запишем условие необходимого возвращающего к равновесию действия моментов при приращении угла $\Delta\alpha$ в виде неравенств

$$\begin{cases} S_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 + \alpha) \cdot L_1 < S_2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \times \\ \times C_{ya2}^\alpha \cdot \left(\alpha_2 + \alpha - \frac{C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 + \alpha)}{\pi \cdot \lambda} \right) \cdot L_2; \\ S_1 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 - \alpha) \cdot L_1 > S_2 \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \times \\ \times C_{ya2}^\alpha \cdot \left(\alpha_2 - \alpha - \frac{C_{ya1}^\alpha \cdot (\alpha_1 - \alpha)}{\pi \cdot \lambda} \right) \cdot L_2. \end{cases}$$

Сократив и сгруппировав члены, получим

$$\begin{cases} \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{C_{ya1}^\alpha}{C_{ya2}^\alpha} \cdot \frac{L_1}{L_2} + \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda} < \frac{\alpha_2 + \alpha}{\alpha_1 + \alpha}; \\ \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{C_{ya1}^\alpha}{C_{ya2}^\alpha} \cdot \frac{L_1}{L_2} + \frac{C_{ya1}^\alpha}{\pi \cdot \lambda} > \frac{\alpha_2 - \alpha}{\alpha_1 - \alpha}. \end{cases}$$

Но согласно определенному ранее условию (1) левая часть неравенств равна $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$, и можно записать

$$\begin{cases} \frac{\alpha_2}{\alpha_1} < \frac{\alpha_2 + \alpha}{\alpha_1 + \alpha}; \\ \frac{\alpha_2}{\alpha_1} > \frac{\alpha_2 - \alpha}{\alpha_1 - \alpha}. \end{cases}$$

Группируя члены и сокращая, получаем $\alpha_2 < \alpha_1$. То есть, чтобы несущая система была статически устойчива, задняя несущая плоскость должна иметь меньший установочный угол, чем передняя. Причем это относится как к разнесенным плоскостям, так и соединенным в единый S-образный профиль, называемый также автостабильным.

Поскольку движитель с колеблющимися лопастями требует периодической смены направления движения, для стабилизации на заданном угле атаки лопастям придать возможность менять установочные углы путем перекладки попарно установочных лопастей на противостоящие друг другу ограничители, закрепленные на оси вращения, или доворачивать рабочие лопасти приводом от направляющей, также установленной на шарнире, как это предложено в патенте на конструкцию ласт [23]. К сожалению, такие конструкции показали себя слишком сложными и громоздкими для плавания, при этом они не позволяли заходить в воду в ластах и становиться ими на грунт.

В [24] был предложен гребной винт, самостоятельно изменяющий свой шаг в зависимости от скорости движения и оборотов вала, благодаря разделению его по радиусу на два участка – рабочий и направляющий. Действующий подобно флюгеру (поддерживающий околонулевой угол атаки в рабочем режиме) участок лопасти у комля доворачивал рабочий участок у края лопасти на необходимый угол атаки. К сожалению, такое решение приводит к неравномерности скоростного поля за винтом и неполному использованию ометаемой площади, что снижает эффективность движителя.

ВОЗМОЖНОСТИ САМОСТАБИЛИЗАЦИИ ЛОПАСТНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Более выгодным представляется самоустановка лопасти винта по мере изменения скорости в промежуточное положение, когда сечения у комля имеют превышающий оптимум угол атаки, а сечения у законцовки работают с несколько заниженным углом, при этом сечения винта взаимно конкурируют выбор установочного угла. Этого можно достичь только при использовании стабилизирующей поверхности вдоль всей лопасти винта, например в виде автостабильного профиля, или пар лопастей на едином шарнире (X-образный винт с двумя шарнирами, на каждом из которых закреплены по паре ближайших лопастей), при этом для стабилизации вторая лопасть в паре должна иметь меньший установочный угол, чем первая. Распределение стабилизирующей поверхности по всему размаху лопасти позволяет, как и в описанном авторском свидетельстве, получать реверс тяги при смене направления вращения, но для обеспечения реверса без смены направления вращения потребуются применение управляемой стабилизирующей поверхности или винта изменяемого шага с приводом поворота лопастей.

Для судна с колеблющимися подводными крыльями для автостабилизации несущих плоскостей по потоку достаточно устанавливать их на шарниры и использовать автостабильные профили, чтобы получить и тягу, и подъемную силу, как показано на рис. 4.

Но колеблющемуся лопастному движителю типа ластва или аналога гребного винта требуется симметричная знакопеременная боковая сила, как показано на рис. 5.

Поскольку известные технические решения, позволяющие лопастям менять свои установочные углы при каждом махе, проявили себя не лучшим образом, возникает вопрос, можно ли стабилизировать систему несущих элементов так, чтобы их угол атаки менял свой знак вслед за сменой направления поперечного движения, а сами несущие элементы оставались неподвижны относительно друг друга? Для ответа на этот вопрос обратим внимание на влияние вязкости потока на обтекание системы несущих элементов.

Набегающий поток обтекает не только профили лопастей, но и заторможенный пограничный слой вокруг них. Лопасти,

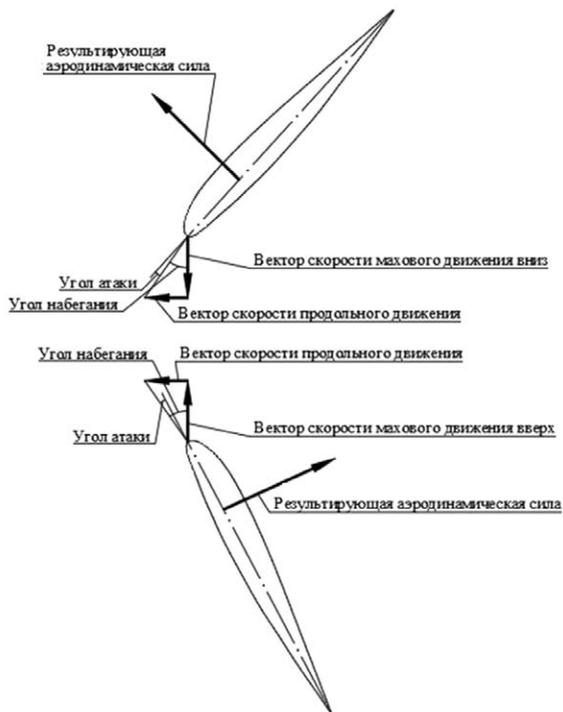


Рис. 4. Направление векторов сил на рабочих ходах колеблющегося лопастного двигателя несимметричной тяги

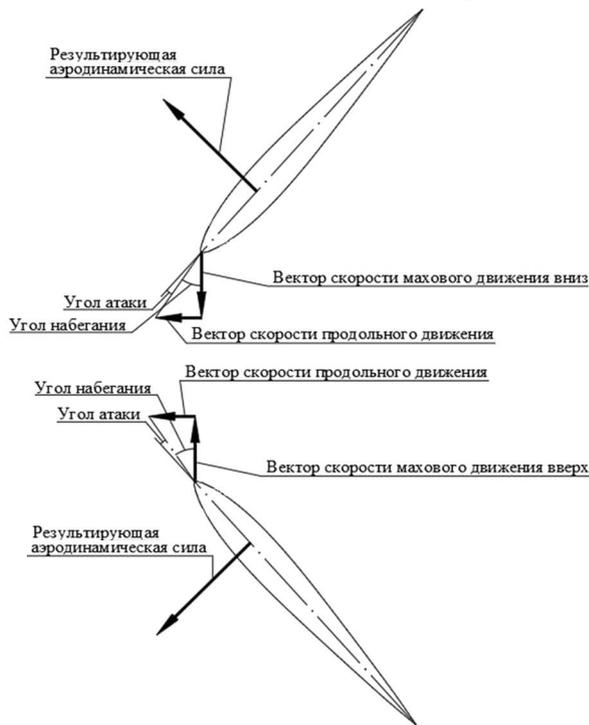


Рис. 5. Направление векторов сил на рабочих ходах колеблющегося лопастного двигателя симметричной тяги

окутанные «налипшим» на них пограничным слоем, образуют для набегающего потока фиктивное тело, или тело вытеснения. На положительных углах атаки толщина пограничного слоя у задней кромки лопасти на верхней поверхности больше, чем на нижней, из-за большего перепада давления. Дополнительное утолщение сверху пограничный слой получает, перетекая снизу вверх через щель между первой и второй лопастью несущей системы. Поэтому профиль тела вытеснения имеет среднюю линию, немного отклоняющуюся вверх, как у автостабильного аэродинамического профиля, и тем сильнее, чем шире и сильнее разнесены профили несущей системы, чем толще крыловые профили в них используются, чем сильнее смещена к носу их максимальная толщина, и чем больше угол атаки (рис. 6).

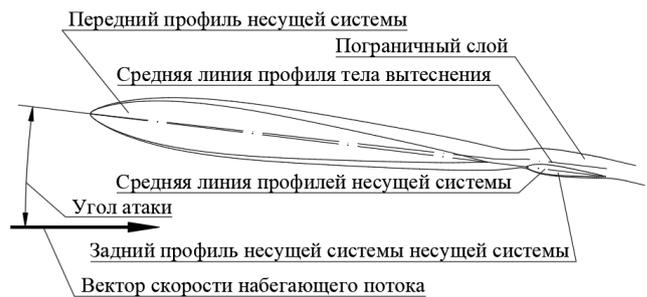


Рис. 6. Форма пограничного слоя симметричной несущей системы на положительном угле атаки

Таким образом, два симметричных аэродинамических профиля, установленных друг за другом с нулевым установочным углом, в вязкой среде при правильно выбранной координате оси вращения могут иметь зону устойчивости по углу атаки. При выборе координаты оси вращения меньше или равной координате центра давления первого профиля система будет «флюгироваться» на нулевом угле атаки. При выборе координаты оси вращения в центре давления системы она окажется безразличной к углу атаки, и стабилизация окажется невозможной. Соответственно, чтобы стабилизировать систему, нужно выбрать координату оси вращения между указанными крайними точками.

На лабораторной аэродинамической трубе кафедры 101 МАИ экспериментально получена стабилизация модели в виде установленного на шарнире крыла размахом 250 мм с симметричным профилем относительной толщиной 12%, хордой 50 мм и прикрепленного к крылу сзади на расстоянии 5 мм стабилизатора с профилем такой же относительной толщины и хордой 10 мм, на углах атаки от 9 град. и выше (рис. 7).



Рис. 7. Экспериментальная установка с системой симметричных крыловых профилей

На меньших углах атаки система начинала вести себя нестабильно, периодически переключаясь с положительного угла атаки на отрицательный и обратно. Изменение углов атаки модели достигалось путем смещения ее оси вращения, для чего в экспериментальной установке были предусмотрены сдвижные ложемента.

Итак, можно создать колеблющийся лопастной движитель симметричной тяги, используя пару скрепленных друг с другом симметричных крыловых профилей, установленных на оси вращения. Но с таким движителем при смене направления поперечного движения возникает новая проблема: разогнавшиеся лопасти в этот момент получают резкую смену направления силы на оси вращения, например с направленной вниз на направленную вверх (рис. 8).

Следуя за сменившимся направлением силы, несущая система перебалансируется на зеркально противоположный относительно направления набегающего угла атаки и, пытаясь «убежать» от притягивающего движения, упрется (рис. 8, б). Как это предотвратить?

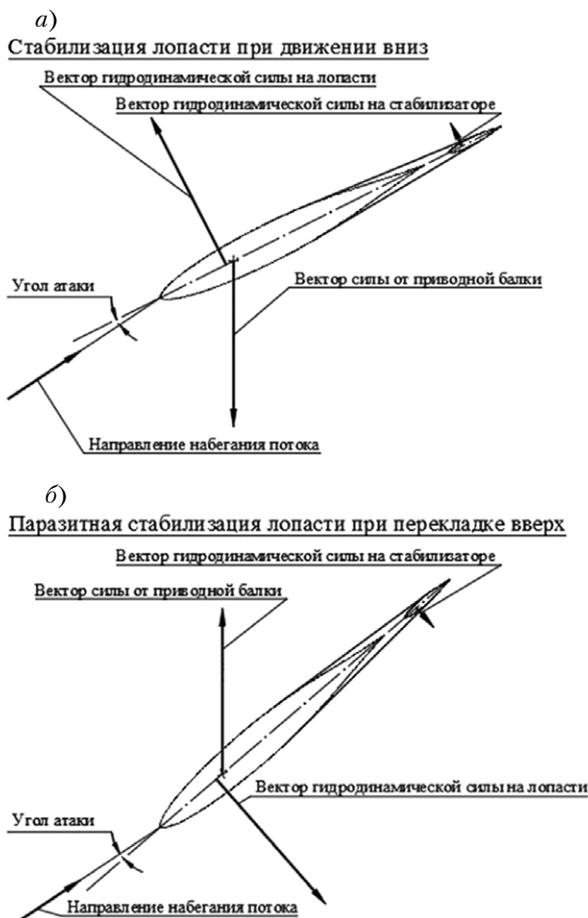


Рис. 8. Паразитная перебалансировка лопасти при смене направления поперечного движения

Можно в момент убегания лопасти (см. рис. 8, б) переключить ось ее вращения на носик переднего профиля несущей системы. Тогда, удаляясь по инерции от приводного штока или балки, лопасть автоматически довернется на направление набегающего, после чего ось вращения можно вернуть на место.

Технически это можно реализовать следующим образом (рис. 9):

Лопасть 1 с жестко закрепленным на ней стабилизирующим крыловым элементом 2 имеет возможность свободно вращаться на оси 3 водила 4, качающегося на оси или гибком звене внутри паза 5 приводной балки 6. На рис. 9, а показано водило в положении верхнего упора, на рис. 9, б – в промежуточном положении при прохождении плоскости симметрии и на рис. 9, в – в положении нижнего упора. На приводной балке сделана направляющая 7, ограничивающая угловое положение лопасти в крайних положениях и при проходе лопасти через плоскость симметрии посредством зацепления с ответным элементом (в данном случае кулачком) лопасти 8. На рис. 9, а показана лопасть в тяговом режиме на самостоятельно выбранном угле атаки, а на рис. 9, б и 9, в угловое положение лопасти ограничивается направляющей.

При боковом движении приводной балки лопасть стремится в противоположном движению направлении и вперед, увлекая за собой водило, пока оно не окажется на упоре паза. Лежа на упоре паза, водило передает тягу лопасти на приводную балку. При смене направления движения лопасть увлекается в противоположном направлении, снимает водило с упора и ведет его через плоскость симметрии на противоположный упор. При проходе плоскости симметрии направляющая подхватывает носик лопасти, переводя ее на нулевой угол атаки, после чего лопасть самоустановится на новом рабочем угле атаки, и передаст тягу на приводную балку после фиксации водила на противоположном упоре.

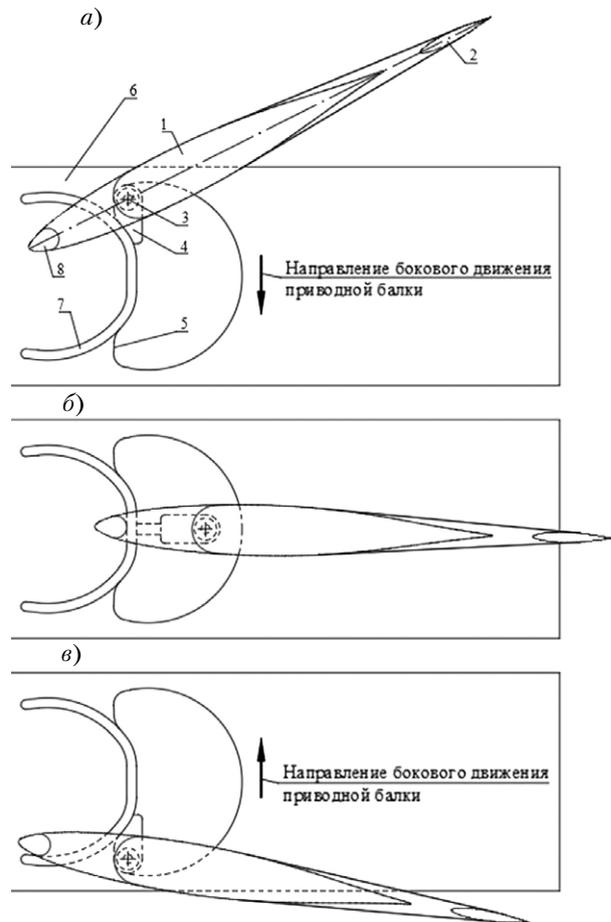


Рис. 9. Схема действия механизма предотвращения паразитной перебалансировки лопасти при смене направления поперечного движения

Однако возникает вопрос, насколько применимо такое техническое решение в действительности, ведь на колеблющиеся лопасти действуют также силы инерционного характера как самих несущих поверхностей, так и присоединенных масс, а также упругие силы от шарниров водил (при использовании в этих шарнирах упругих звеньев, удерживающего лопасти в нейтральной позиции без нагрузки)? Для проверки применимости описанного решения был изготовлен натурный образец ласт, в котором самостабилизирующиеся лопасти были установлены на механизмах предотвращения паразитной перебалансировки (рис. 10–11).

Испытания* показали, что экспериментальный движитель работает должным образом, показывая существенный прирост пропульсивных качеств по сравнению с обычными ластами. Однако выявлены проблемы с прочностью пластика для SLA 3D-печати, из которого были изготовлены лопасти. Гладкая и точная поверхность деталей сопровождалась их ломкостью, что приводило к обламыванию кулачков лопастей под сильной на-



Рис. 10. Внешний вид экспериментальных ласт с самостабилизирующимися лопастями

* Видео испытаний экспериментальных ласт в бассейне: <https://rutube.ru/video/915ccb623f42be809247a103239f5bce/>



Рис. 11. Внешний вид лопасти ласты с самостабилизирующимися лопастями

грузкой. Также значительные изгибающие гидродинамические силы, действующие на лопасти, потребовали их усиления углеродными лонжеронами. Изготовление лопастей из более прочного литого пластика позволит решить эти проблемы.

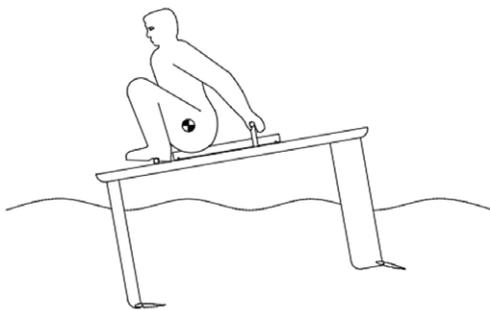
ВОЗМОЖНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ САМОСТАБИЛИЗИРУЮЩЕГОСЯ ЛОПАСТНОГО ДВИЖИТЕЛЯ

Предложенное техническое решение может оказаться эффективным как для привода судов, в том числе на подводных крыльях, так и в подводном снаряжении ныряльщиков, таком как ласты на рис. 11 (галоша ласты условно не показана, упругость гибких звеньев водил подобрана таким образом, чтобы лопасти без нагрузки не провисали).

Также применяются подводные крылья (гидроfoil) и в водном спорте, например в серфинге. Одним из способов поддержания движения спортивного снаряда на гидроfoilе является так называемый пампинг, когда спортсмен стоит на борде, периодически приседая, при этом перенося вес вначале на переднюю, а затем на заднюю ноги. Однако в известных конструкциях крылья закреплены на борде, лыжах или другом плавательном средстве неподвижно (например, патенты [25–33]), поэтому стартовать с помощью пампинга невозможно, необходимо предварительно разогнать борд. Кроме того, поддержание необходимой скорости на таком спортивном снаряде требует серьезных усилий, и человек, приседая, быстро устает. Устранить описанные проблемы позволит использование двух подводных крыльев с автостабильным профилем, шарнирно связанных с передней и задней стойками борда (рис. 12).

Тогда, перенося вес с передней стойки на заднюю, либо стоя, либо сидя, как показано на рис. 12, спортсмен может попеременно поднимать и опускать крылья, автоматически выставляя-

Движение при смещении центра тяжести вперед



Движение при смещении центра тяжести назад

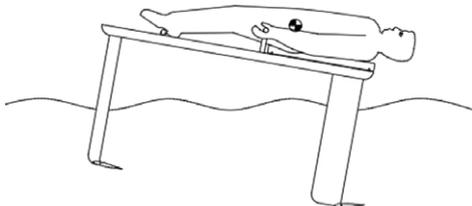


Рис. 12. Возможное применение шарнирно закрепленных подводных крыльев на спортивном плавательном средстве

щиеся на оптимальный угол атаки, и длительно поддерживать необходимую для движения на крыльях скорость.

Тот же принцип попеременного поднимания и опускания по меньшей мере одного шарнирно закрепленного крыла может способствовать совместному получению подъемной силы и тяги для любых плавательных средств с подводным крылом (гидроfoilом), в том числе и с моторным приводом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Русецкий А.А. Движители судов с динамическими принципами поддержания. – Л.: Судостроение, 1979.
2. Пустошный А.В., Коваль А.А. О методиках прогнозирования шума гребных винтов транспортных судов // Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2021. – Т. 2. – № 396.
3. Храмушин В.Н. Гидромеханика крыла и плавника (обзор инженерных решений нестационарной гидромеханики). – researchgate.net, 2019.
4. Корнилов Э.В., Бойко П.В., Смирнов В.П. Судовые гребные винты регулируемого шага (ВРШ): Конструкции, эксплуатация, ремонт. – Одесса: Негоциант, 2007.
5. Вишневский Л.И., Половинкин В.Н., Тогуниц А.Р. Винты изменяемого шага: основные результаты и направления исследований // Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Т. 2. – № 388.
6. Вишневский Л.И., Тогуниц А.Р. Корабельные лопастные движители: Новые технические решения, результаты исследований. – СПб.: Судостроение, 2012.
7. Тогуниц А.Р., Печенюк А.В., Вишневский Л.И. Совершенствование ходкости скоростных судов путем использования винтов с подвижным креплением лопастей на ступице. – Тр. междунар. конфер. FAST–2005, с. 521–526.
8. Вишневский Л.И., Тогуниц А.Р. Гидродинамика корабельных лопастных движителей. Инновационные решения. – СПб.: Реноме, 2020.
9. Автоматические воздушные винты / Под редакцией П.И. Орлова. – М.: Оборонгиз, 1941.
10. Карпузов Е.И. Оптимизация пропульсивных систем с крыльевыми элементами. – Дисс. д-ра техн. наук, СПбГМТУ, 2000.
11. Патент US6290561B1, Swimming flipper/ Giovanni Garofalo Mario Viale, 2000.
12. Патент US5746631A, High efficiency hydrofoil and swim fin designs/ Peter T. McCarthy, 1996.
13. Патент US4944703A, Swim fin having multiple articulating transverse hydrofoil blades/ Arthur R. Mosier, 1988.
14. Патент US4767368A, Swim fin with hinged, spring-biased blade displaced from toe of foot pocket/ Stephen S. Ciccotelli, 1987.
15. Патент US4178128A, Method of and device for propulsion/ Calvin A. Gongwer, 1977.
16. Патент US3122759A, Swimmer's propulsion device/ Calvin A. Gongwer, 1961.
17. Патент RU2075320C1, Ласт/ М.С.Толчинский, 1994.
18. Патент US3084355A, Swimming aid/ Stephen S. Ciccotelli, 1962.
19. Патент US3411165A, Swim fin/ Frank N. Murdoch, 1966.
20. US3426722A, Swimming aid/ Nicholas Dragich, 1967.
21. Патент US4209866A, Swim fin/ Herbert H. Loeffler, 1978.
22. Патент US4738645A, Swim fin provided with a self-shaping, fluid flow conveying and controlling canal-like member/ Giovanni Garofalo, 1984.
23. Патент US5536190A, Swim fin with self-adjusting hydrofoil blades/ Craig L. Althen, 1995.
24. Авт. св. SU146201A1. Гребной винт изменяемого шага/ В.В.Боднар-Соловьев, 1960.
25. Патент US3121890A, Water ski/ Jr. Joseph F. Rumsey, 1961.
26. Патент US3164119A, Hydrofoil lift/ Lucas L. Emmanuel, Walter R. Woodward, 1963.
27. Патент US3604031A, Hydrofoil board/ Michael J. Cahill, Ernest G. La Casse, 1969.
28. Патент US3747138A, Hydrofoil surfboards/ D. Morgan, 1970.
29. Патент US3182141A, Actuating mechanism for thumbwheel type switch/ Jerry C. Koci, Stanford M. Heide, Holz Alfred, 1963.
30. Патент US2751612A, Water ski hydrofoil/ Shepard Harwood, 1954.
31. Патент US7144285B1, Hydrofoil surfing board/ Tareah John Hendricks, 2004.
32. Патент US5249998A, Water sports device/ Robert C. Woolley, Michael J. Murphy, 1991.
33. Патент US20050255764A1, Flying ski/ Robert Woolley, 2005. ■

В настоящее время в нашей стране и за рубежом интенсивно проводятся работы по созданию, совершенствованию и внедрению современных технологий разработки и поддержки эксплуатации перспективных робототехнических систем различного применения. Наземная отработка подобных систем – обязательный этап проверки правильности выбранных конструкторских решений [1].

Традиционно при создании аппаратуры управления робототехническими системами применяются комплексы полунатурного моделирования (КПМ), в которых реальная аппаратура функционирует в условиях, максимально приближенных к реальным [2]. В то же время часть систем представляются имитаторами и математическими моделями. Как правило, это те элементы или процессы, которые затруднительно или невозможно воспроизвести, например, движение высокоманевренного аппарата в реальной нестационарной среде. Подобные комплексы зачастую превосходят по информативности натурные испытания, поскольку позволяют проверить функционирование системы в широком диапазоне условий и при сочетании множества имитируемых факторов, которые затруднительно создать в натуральных испытаниях.

Первые образцы КПМ появились в связи с разработкой системы управления скоростных самолетов и управляемых ракет в 1943–1945 гг. [3]. На этих весьма несовершенных комплексах выполнялись серии «полетов» с целью исследования характеристик систем в условиях высоких скоростей и ускорений. В последующие годы к КПМ проявили большой интерес и стали их интенсивно разрабатывать ведущие ракетные и самолетостроительные фирмы, такие как «Локхид», «Боинг», «Бендикс». Подобным работам уделяется большое внимание и в нашей стране [4, 5]. Одним из ведущих предприятий в области разработки и внедрения интегрированной технологии наземной отработки сложных роботизированных комплексов является ФАУ ГосНИИ АС (ранее НИИ-2 МАП). В ЦНИИ «Гранит» для отработки перспективных систем был создан КПМ, который получил дальнейшее развитие с использованием имитационных средств собственной разработки и изготовления, так и созданных в кооперации с ведущими предприятиями страны.

Главная проблема полунатурного моделирования – обеспечение высокой точности прогнозирования натуральных испытаний и повышение достоверности результатов моделирования [6]. Структура типового КПМ приведена на рис. 1. Важнейшими элементами комплексов КПМ, позволяющими воспроизводить в лабораторных условиях режимы дви-

РАЗРАБОТКА ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МЕХАНИЧЕСКИХ ИМИТАТОРОВ КОМПЛЕКСА ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Н. Попадьян, канд. техн. наук, начальник НИЛ,
В.С. Кашлаков, инженер 1-й категории,
А.А. Ольский, вед. инженер, АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
Е.А. Анисимов, ст. преподаватель ЮГРПУ (НПИ) им. М.И. Платова,
 контакт. тел. (812) 445 0829

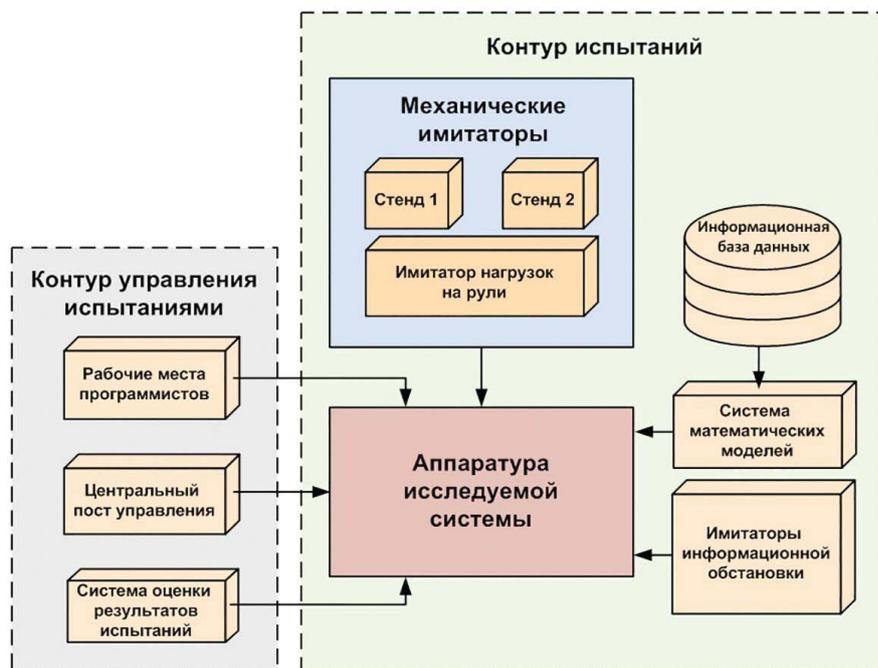


Рис. 1. Структурная схема комплекса полунатурного моделирования

жения, близкие к реальным, являются имитаторы. В КПМ используются имитаторы с вращательным и поступательным перемещением – динамические моделирующие стенды (ДМС) [3].

При этом введении в состав КПМ различного имитационного оборудования объясняется стремлением приблизить условия наземных испытаний к условиям эксплуатации за счет одновременного воспроизведения факторов различной физической природы и сложением спектра нагрузок, действующих на изделие при его движении [7].

Научные и производственные организации как за рубежом, так и в отечественной промышленности ведут исследования по совершенствованию имитаторов, приближающих условия наземных испытаний систем управления робототехнических систем и их элементов к условиям эксплуатации в реальных условиях. Решение этой проблемы направлено на сокращение натуральных испытаний робототехнических систем благодаря расширению объема наземной отработки.

При проектировании имитаторов важно знать и учитывать общие технические требования, предъявляемые как к испытываемой аппаратуре, так и к имитаторам [7]. Имитатор в составе КПМ должен удовлетворять общим техническим требованиям и обеспечивать:

- идентичность или динамическое подобие эксплуатационных процессов;
- минимальные побочные воздействия на испытываемую аппаратуру;
- максимальную автоматизацию и механизацию операций, использование ЭВМ, особенно в части программного управления, контроля, регистрации данных, измерения параметров, отработки результатов;
- проведение испытаний в короткие сроки с минимальными затратами средств;
- мощность, достаточную для проведения испытаний;
- долговечность при работе;
- стабильность характеристик в пределах установленных допусков;
- простоту в изготовлении и экономичность;

- использование стандартных источников подводимой мощности;
- возможность воспроизводить нагрузку и стабильность режима с заданной точностью в течение определенного времени и иметь при этом характеристики, удовлетворяющие требованиям нормативно-технической документации (НТД);
- выдачу информации в удобной для оперативного использования форме;
- воспроизводимость результатов испытаний, исключающая неоднозначность заключения;
- простоту и удобство в управлении заданным испытательным режимом;
- возможность ручного и автоматического управления.

Имитаторы механических нагрузок различного назначения, как правило, состоят из трех частей, соединенных электропроводными, трубопроводными и механическими коммуникациями. В исполнительной части располагается реальная аппаратура и обеспечивается подача воздействий, имитирующих эксплуатационные факторы. Информационно-управляющая часть обеспечивает съем, преобразование, анализ и отображение полученной информации, а также ручное и автоматическое управление экспериментом. Третья часть представляет собой систему энергопитания [7].

Исполнительная часть имитатора содержит устройство для установки, закрепления и удержания испытуемой аппаратуры в рабочем положении в процессе испытания, а также приспособления для передачи воздействия к испытуемой аппаратуре с минимальными искажениями, не выходящими за пределы допустимых значений.

Информационно-управляющая часть содержит:

- устройства для сбора, преобразования и измерения информации о параметрах имитируемых воздействий и о параметрах аппарата;
- вычислительный комплекс, который может включать программное обеспечение, логические и вычислительные устройства, обеспечивающие обработку поступающей информации и выполняющие оценку по двум или трем альтернативным критериям. Кроме того комплекс обеспечивает анализ информации с целью автоматического отыскания неисправных элементов в аппарате и прогнозирования работоспособности аппарата, а также накопление и обработку статистической информации при использовании статистических методов и т. д.;
- средства отображения информации, полученной от аппарата, имитаторов и специальных устройств, контроли-

рующих работоспособность стенда, в том числе и информации, полученной от вычислительного комплекса;

- устройства автоматического управления стендами и аппаратом, включая различные устройства программного управления, а также органы ручного управления.

Устройства для задания, получения и обработки информации, образующие информационно-управляющий контур, включают в себя устройства автоматического программного управления, устройства измерения, преобразования, распределения, оценки и анализа информации, устройства визуализации и регистрации информации.

Системы энергопитания имитаторов содержат как электрические источники питания, так и гидравлические. Источники питания могут быть индивидуальными и центральными, в виде электрических подстанций, насосных и пневматических станций, централизованно снабжающих испытательные стенды электрической, гидравлической энергией.

Процесс проектирования имитаторов КППМ, как и любых сложных технических устройств, является творческим и решается, как правило, конструктором итерационным методом последовательных приближений. В настоящее время отсутствуют единые требования и стандарты к имитаторам. Это объясняется разнообразием задач, решаемых на КППМ, и условий эксплуатации реальной аппаратуры робототехнических систем различного применения.

Однако можно указать ряд типовых технических требований к имитаторам, которые должны назначаться на основе изучения характеристик аппаратуры управления исследуемой системы. Имитаторы должны обеспечивать: перемещение (угловое или поступательное) полезной нагрузки с угловыми скоростями и ускорениями, превышающими скорости и ускорения исследуемого изделия, полоса пропускания имитатора должна превышать полосу рабочих частот изделия в 5–8 раз, статическая точность должна быть не хуже 3 угл. мин., надежность работы – высокой в течение длительного времени. В связи с этим вопросы рационального выбора конструкции имитатора, типа привода и схемы управления им имеют исключительно важное значение.

Исходя из характеристик КППМ, входящих в систему технологического оборудования для экспериментальной отработки разрабатываемой аппаратуры различных классов робототехнических систем, можно сформулировать общие технические требования к имитаторам.

Имитатор КППМ должен:

- включать и выключать питание имитатора с центрального пульта управления КППМ;
- контролировать и диагностировать функциональные элементы имитатора;
- измерять контролируемые параметры и передавать информацию о них другим элементам и подсистемам КППМ;
- организовывать информационный обмен с элементами КППМ;
- обеспечивать загрузку внешних тестов и сохранять результаты в локальной вычислительной сети комплекса КППМ.

Формально процесс проектирования ДМС может быть разбит на следующие основные этапы:

- уточнение технических требований к ДМС, исходя из анализа конструкции, динамических характеристик и условий эксплуатации изделия;
- определение структуры и принципов функционирования ДМС в составе КППМ;
- выбор элементной базы ДМС;
- синтез алгоритмов управления ДМС;
- разработка информационной управляющей системы ДМС;
- проведение экспериментальных исследований для проверки математических расчетов и инженерных решений.

Системе управления ДМС в виде исполнительного следящего привода (СП) отводится особая роль, поскольку на данном уровне во многом решается вопрос качества реализации необходимого движения выходного элемента ДМС.

Выходной сигнал ДМС (угол поворота платформы) y связан с управляющим сигналом, поступающим на его вход с вычислительной машины x выражением

$$y(s) = W_{\text{сн}}(s) W_{\text{кф}}(s) W_{\text{к}}(s) x(s) + y_{\text{ш}}(s), \quad (1)$$

где $W_{\text{сн}}(s)$ – линеаризованная передаточная функция СП ДМС; $W_{\text{кф}}(s)$ – передаточная функция корректирующего фильтра; $W_{\text{к}}(s)$ – передаточная функция кинематической передачи ДМС, не охваченная обратной связью; $y_{\text{ш}}(s)$ – шумовые колебания платформы ДМС.

Погрешность ДМС определяется воспроизведением им управляющего сигнала

$$\varepsilon = x - y. \quad (2)$$

Отдельными составляющими погрешности ДМС являются динамические, статические и шумовые.

Динамические погрешности обусловлены естественной инерционностью подвижных частей ДМС, недостаточной жесткостью его конструкции, не-

точностью настройки корректирующего фильтра и других корректирующих устройств, а также различными нелинейностями СП и кинематики ДМС. Характерной особенностью динамических погрешностей ДМС является принципиальная возможность их устранения для определенного стационарного процесса в контуре моделирования с помощью оптимальной настройки корректирующего фильтра, передаточная функция которого обратна передаточной функции СП, т.е.

$$W_{\text{кф}}(s, b_i) = W_{\text{сп}}^{-1}(s), \quad (3)$$

где b_i – регулируемые коэффициенты корректирующего фильтра.

Принято оценивать величину динамической погрешности ДМС по изменению запасов устойчивости контура исследуемой системы управления, вызванных включением в полунатурную модель ДМС. Исследования показали, что для удовлетворения этого условия должно выполняться равенство

$$\omega_{\text{дмс}} = (5 \div 7)\omega_0, \quad (4)$$

где $\omega_{\text{дмс}}$ – полоса пропускания ДМС, т.е. скорректированного СП; ω_0 – полоса пропускания моделируемой системы управления.

В качестве корректирующего фильтра могут использоваться все известные в теории автоматического управления устройства [7].

Наиболее эффективным и просто реализуемым средством компенсации динамических погрешностей ДМС является подача на вход следящего привода сигналов, пропорциональных первой и высшим производным от управляющего сигнала. Специфика включения ДМС в полунатурную модель позволяет получать эти сигналы не путем дифференцирования, а из уравнений, описывающих движение изделия, решаемых на вычислительном комплексе [7]. Таким образом, на входе следящего привода формируется корректирующий фильтр с передаточной функцией $W_{\text{кф}}(s, b_i)$, обратной передаточной функции следящего привода $W_{\text{сп}}(s)$, т.е. выполняется равенство (1). Такой способ позволяет расширить полосу пропускания ДМС более чем в 5 раз (рис. 2).

Поэтому при определении пригодности ДМС в том или ином КППМ в первую очередь необходимо тщательным образом изучить характеристики системы управления моделируемого изделия. Условие получения широкой полосы пропускания ДМС обуславливает необходимость создания жесткой конструкции, резонансные частоты которой значительно (более чем в 5 раз) превышают верхний предел полосы пропускания СП.

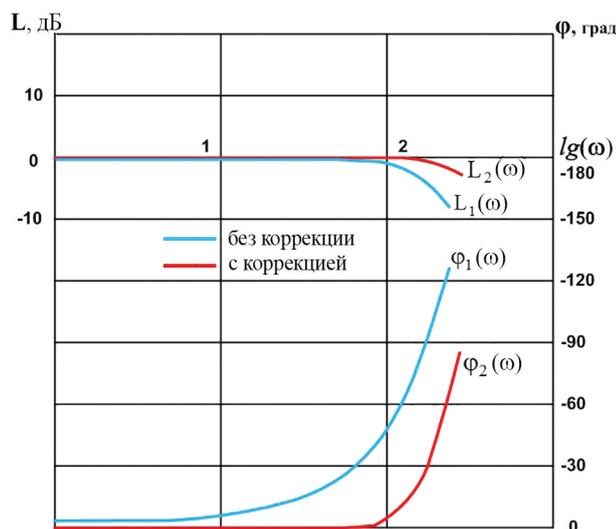


Рис. 2. Экспериментальные амплитудные (L) и фазовые (φ) частотные характеристики нескорректированного и скорректированного следящего привода

Статические погрешности ДМС определяются нелинейностями его СП типа сухое трение, зона нечувствительности, люфт, а также несбалансированностью нагрузки. Допустимая величина статических погрешностей определяется, как правило, для каждого конкретного варианта задач, решаемых с помощью КППМ. Наибольшее влияние эти ошибки оказывают на результаты режимов самонаведения.

Источниками так называемых шумовых погрешностей ДМС являются малые высокочастотные колебания его платформы, особенно при обработке «ползучих» скоростей. Шумовая составляющая движения платформы ДМС воспринимается гироскопическими приборами системы управления и поступает в приборы автопилота, при этом происходит «зашумление» контура ПНМ, изменение его запасов устойчивости и искажение результатов ПНМ.

Одно из ключевых мест в аппаратуре робототехнических систем различного применения. занимают следящие рулевые приводы. Они предназначены для управления отклонением рулевых органов изделия с требуемой динамической и статической точностью, определяемой сигналами системы управления. Наиболее перспективным типом привода для использования в подобных системах управления является электрогидравлический привод с дроссельным управлением и силовым гидроцилиндром [2].

В ряде режимов движения скоростных робототехнических систем резко возрастают шарнирные моменты, которые влияют на маневренные свойства изделия и на точность управления его движением [5]. А так как мощность рулевого привода ограничена, может наступить ситуация, когда рули перестанут отклоняться по командам системы

управления [5]. В связи с этим возникает необходимость введения в состав КППМ имитатора, обеспечивающего достоверность реакций реальной аппаратуры на внешние возмущения за счет воспроизведения широкого спектра характеристик внешней среды на рулевые механизмы изделия.

Подход к проектированию имитатора нагрузок на рулевые механизмы в целом аналогичен вышеизложенному. При этом в процессе формулирования общих технических требований к имитатору необходимо учитывать особенности конструкции, динамические свойства и условия эксплуатации изделия:

- максимальное усилие, действующее на шток рулевого привода;
- максимальная скорость движения штока при отсутствии нагрузки;
- постоянная времени обработки сигнала управления;
- максимальное перемещение штока силового привода имитатора;
- статическая погрешность воспроизведения заданного усилия на штоках рулевого привода;
- динамическая погрешность воспроизведения заданного значения усилия на штоках рулевого привода в рабочем диапазоне частот.

Данные технические требования в значительной степени определяют будущий облик разрабатываемого имитатора, его структуру, динамические характеристики составных частей, конструктивные особенности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важнейшей особенностью создания современных КППМ с аппаратурой управления робототехнических систем является необходимость учета индивидуальных особенностей каждой исследуемой системы. Это обстоятельство исключает создание типового проекта КППМ, кото-

рый можно тиражировать хотя бы для родственных систем подобно обычному тиражированию инженерных проектов. При современных масштабах разработки индивидуальное проектирование недопустимо. Рассмотренный подход позволяет создать формализованные методы разработки оборудования для использования в составе КППМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подоплёкин Ю.Ф., Юрескул А.Г., Попадьян А.Н., Каманин В.В. Современные тенденции создания средств обработки конкурентоспособной военной техники // Судостроение. – 2021. №1(854). – С.14–17.
2. Юрескул А.Г., Ямщиков Ю.А., Романова Ю.В., Попадьян А.Н., Анисимов А.В. Испытания автоматизированных систем судовождения на динамическом моделирующем комплексе // Морской вестник. – 2020. – №4(76). – С.93–96.

3. Динамические стенды для физического моделирования (обзор) // Вопросы ракетной техники. – 1964. – №10. – 38 с.; №11. – 44 с.; №12. – 62 с.
4. Чернышев А.В. Проектирование стендов для испытаний и контроля бортовых систем летательных аппаратов: Учеб. для авиационных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1983. – 384 с.
5. Патент на изобретение №2662331. Российская Федерация. МПК G09B9/02, Моделирующий комплекс для отладки системы управления автономным подвижным объектом / Каманин В.В., Юрескул А.Г., Попадьян А.Н., Анисимов А.В., Романова Ю.В. Комплексный подход имитации механических нагрузок в процессе полнатурного моделирования системы управления автономным подвижным объектом // Морская радиоэлектроника. – 2020. – №2(72). – С.30–35. ■

- Юрескул А.Г., Попадьян А.Н.; заявитель и патентообладатель Акционерное Общество «Концерн «Гранит-Электрон» – №2017140582; заявл. 21.11.2017. Опубликовано 25.07.2018 г., Бюллетень №21.
6. Попадьян А.Н., Подоплёкин Ю.Ф., Морозов В.В., Каманин В.В. Применение новых информационных технологий для оценки эффективности корабельных комплексов военной техники // Морской вестник. – 2022. – №3(83). – С.73–76.
 7. Попадьян А.Н., Юрескул А.Г., Анисимов А.В., Романова Ю.В. Комплексный подход имитации механических нагрузок в процессе полнатурного моделирования системы управления автономным подвижным объектом // Морская радиоэлектроника. – 2020. – №2(72). – С.30–35. ■

Наибольшее водоизмещение кораблей на подводных крыльях (КПК) – до 550 т, скорость хода КПК на тихой воде – до 60 уз, крейсерская скорость на волнении 5 баллов ($h = 3$ м) 3%-ной обеспеченности – 50 уз [1, 2]. КПК имеют носовой и кормовой крыльевой комплекс. В качестве исполнительных органов на носовом крыльевом комплексе имеются два поворотных крыла, на которых исполнительный электрогидропривод развивает максимальный шарнирный момент 28 тм, при скорости перекадки $7^\circ/\text{с}$ номинальный составляет 18 тм. Углы перекадки крыльев достигают $(+6^\circ) - (-5^\circ)$ (вниз -5° , вверх $+6^\circ$).

На кормовом крыльевом комплексе есть два поворотных закрылка с углом перекадки $\pm 15^\circ$, максимальный шарнирный момент на одном закрылке равен 8,4 тм при скорости перекадки $14,4^\circ/\text{с}$.

Опыт эксплуатации систем управления движением (СУД) на самоходных моделях и на натуральных КПК показал, что снижение уровня безопасности, качества стабилизации и управляемости происходит в основном [2]:

- из-за отказов источников информации;
- из-за неисправности в каналах СУД или нерациональных алгоритмов управления СУД.

Ранее в работах [3–10] рассматривались вопросы конструктивной безопасности КПК, общие вопросы повышения безопасности скоростных кораблей и судов, исследовались построения алгоритмической структуры СУД в нормальных и аварийных ситуациях, анализировались параметры работы электрогидравлических приводов закрылков КПК, но осталась без внимания проблема рационального построения алгоритмов управления движением в нормаль-

ных ситуациях, которые могут привести к аварии корабля и даже к его гибели. Особенно актуальна эта проблема для КПК, структурно неустойчивым, движение которых невозможно без работы СУД как при выходе на крылья, так и в крыльевом режиме. Поэтому в данной статье проанализируем выбор алгоритмов управления СУД, так как опыт испытаний СУД корабля подобного типа показал, что они определяют их качество и безопасность во всех режимах движения.

РЕЗУЛЬТАТЫ КАЧЕСТВА РАБОТЫ С ВЫБРАННЫМИ РАЗРАБОТЧИКОМ АЛГОРИТМАМИ УПРАВЛЕНИЯ

Испытания показали, что на скорости хода 50 уз КПК подобного типа движется со средней глубиной погружения крыльевого комплекса 2,0–3,5 м и с дифферентом $2,5-3,0^\circ$ на корму. В период испытания и опытной эксплуатации такого КПК [2] возникли аварийные ситуации, вызванные алгоритмами управления СУД при нормальном режиме ее работы. В результате проектирования и испытаний самоходной модели разработчиком СУД были выбраны нижеперечисленные алгоритмы управления:

ВЛИЯНИЕ АЛГОРИТМОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НА БЕЗОПАСНОСТЬ СУДА НА ПОДВОДНЫХ КРЫЛЬЯХ

Ю.В. Копытов, гл. конструктор ЗАО «ЦНИИ СМ»,
Д.А. Скороходов, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотрудник
ФГБУН «Институт проблем транспорта имени Н.С. Соломенко» РАН,
контакт. тел. (812) 640 1051, sudmash@sudmash.ru

$$\delta_p = \frac{\tau_s p + 1}{p} \cdot (k_\phi \cdot \phi + k_\psi \cdot \dot{\phi}), \quad (1)$$

$$\delta_n = \frac{\tau_s p + 1}{p} \cdot (\sigma_n \pm \sigma_\gamma), \quad (2)$$

$$\delta_k = \frac{\tau_s p + 1}{p} \cdot \sigma_s, \quad (3)$$

где

$$\sigma_h = \frac{k_h}{p} \cdot \left[(\tau_h \cdot p + 1) \cdot h + \frac{k_{wy}}{k_h} \cdot W_y \right], \quad (4)$$

$$\sigma_\gamma = \frac{k_\gamma}{p} \cdot \left[(\tau_\gamma \cdot p + 1) \cdot \gamma + \frac{k_{wy}}{k_\gamma} \cdot p^2 \cdot \gamma \right], \quad (5)$$

$$\sigma_s = \frac{k_s}{p} \cdot \left[(\tau_s \cdot p + 1) \cdot \vartheta + \frac{k_{wa}}{k_s} \cdot p^2 \cdot \vartheta \right], \quad (6)$$

где $\delta_p, \delta_{np}, \delta_k$ – углы отклонения соответственно вертикального руля, носовых крыльев и кормовых закрылков; τ_s – постоянная времени электрогидравлического привода; p – оператор дифференцирования; $\phi, \dot{\phi}, h, \gamma, \vartheta$ – соответственно угол отклонения от курса, производная от угла отклонения от курса, высота движения над поверхностью воды, угол крена и угол дифферента; $\sigma_h, \sigma_\gamma, \sigma_s$ – соответственно сигналы управления по высоте движения КПК, по крену и дифференту; k_ϕ, k_ψ – коэффициенты усиления алгоритма управления по углу отклонения от курса и производной от угла отклонения от курса; k_h

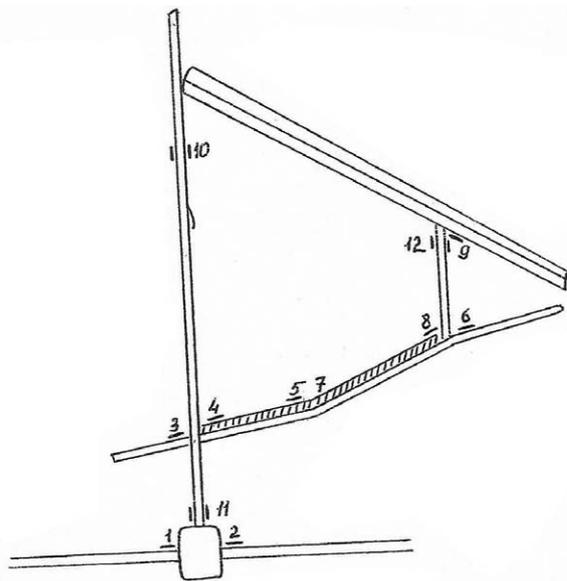


Рис. 1. Схема правой половины носового крыльцевого комплекса и установленных на нем тензоблоков (4, 5, 7) и тензодатчиков (1, 2, 3, 6, 9–12)

k_y, k_δ – коэффициенты усиления алгоритмов управления по высоте движения КПК, по углу крена и дифферента; $\tau_h, \tau_\gamma, \tau_\delta$ – постоянные времени алгоритмов управления по скорости отклонения КПК по высоте, по крену и дифференту; $k_{u_y}, k_{u_\gamma}, k_{u_\delta}$ – коэффициенты усиления алгоритмов управления по ускорению по оси y , по углу крена γ и дифферента δ ; W_y – ускорение по оси y ; $p^2 \cdot \gamma, p^2 \cdot \delta$ – вторая производная по углу крена и дифферента.

Испытания проводились при различных значениях волнения моря, начиная от тихой воды и заканчивая волнением 5 баллов 3%-ной обеспеченности. Наибольший интерес представляет волнение моря 5 баллов, так как при этих условиях СУД должна была обеспечивать характеристики, заложенные в технических условиях на поставку СУД. При испытаниях скорость движения КПК составляла $0,88 V_{\max}$, волнение моря – 2,7–2,85 м (5 баллов) 3%-ной обеспеченности. При движении КПК курсовые углы встречи с волной (КУВ) составляли $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$. Во время испытаний велась запись следующих параметров движения КПК: крена, дифферента, курса, углов отклонения носовых крыльев, кормовых закрылков, руля направления, глубины погружения крыльцевого устройства, вертикальных и боковых перегрузок в носу, в корме и в центре тяжести корабля, а также величины напряжения на носовом крыльцевом комплексе в 12 точках, определенных с помощью наклеенных тензоблоков и тензодатчиков (рис. 1).

Анализ обработки осциллограмм показал следующее.

Движение на КУВ = 0° . Время движения составило 380 с. Правое носовое

крыло лежало под углом $-4,5^\circ$ (в верхнем положении) в течение 147 с из всего времени записи, а левое носовое крыло – под углом $-4,5^\circ$ в течение 90 с. При этом выходило на упор ($-4,5^\circ$) 70 раз. Наблюдались длиннопериодические колебания по курсу с амплитудой $2,5^\circ$ на правый борт и с периодом 40 с и колебания по высоте с частотой, превышающей частоту встречи КПК с волной.

Движение на КУВ = 45° . Время движения составило 290 с. Аналогично движению на КУВ = 0° происходил частый выход носовых крыльев на упор ($-4,5^\circ$), при этом правое крыло лежало на упоре больше по времени, чем левое. Произошло одно колебание по крену на левый борт длительностью 2 с, а затем на правый борт длительностью 8 с с размахом 7° . При этом угол отклонения правого носового крыла составлял ($+4,5^\circ$), левого носового крыла ($-4,5^\circ$). После этого через 8 с произошло отклонение по курсу на $2,5^\circ$ левого борта. Процесс изменения дифферента с ($+4^\circ$) до ($+2,2^\circ$) совпадал с процессом колебания по крену.

Движение на КУВ = 90° . Время движения составило 450 с. В этом режиме движения наблюдались колебания по параметрам движения, аналогичные предыдущим. Величина колебания по скорости движения составила $7,5$ уз, а количество колебаний за время записи – 12 раз.

Движение на КУВ = 135° . Время движения составило 450 с. Колебания параметров движения наблюдались аналогично предыдущим режимам.

Движение на КУВ = 180° . Время движения составило 300 с. Наблюдалось аналогично движению на КУВ = 90° па-

дение скорости КПК, колебания по дифференту составили ($+2^\circ$) – ($+4^\circ$) и колебания по крену – от $1,7^\circ$ до $3,5^\circ$ на правый и левый борт. На 300 с от начала выполнения режима движения произошла остановка главных двигателей по сигналу от СУД. Процесс развивался следующим образом: за 2 с крен составил 2° левого борта, а через 6 с достиг 3° правого борта, через 7 с снизился до 0° , а через 11 с достиг величины $9,5^\circ$ на правый борт. Через 7 с после начала развития процесса скорость снизилась с $0,89 V_{\max}$ до $0,75 V_{\max}$. Средний дифферент оставался в пределах $\pm 2^\circ$, колебания по дифференту составили $\pm 1^\circ$. В начале процесса угол отклонения носовых крыльев составлял ($-4,5^\circ$), при этом левое носовое крыло лежало на упоре ($-4,5^\circ$) в продолжении 12 с, а правое носовое крыло – 7 с. При достижении крена $9,5^\circ$ на правый борт в СУД сработала защита, по сигналу которой системой управления газотурбинной установкой остановлены двигатели. Посадка КПК в водоизмещающее положение произошла за 33 с, при этом скорость хода корабля упала с $0,75 V_{\max}$ до $0,17 V_{\max}$. Максимальное отклонение по курсу составило 5° на правый борт на 6 с от начала процесса.

Если крен не достигал предельного, то при движении КПК носовой крыльцевой комплекс приводил корабль почти в водоизмещающее положение (заглубление носового крыльцевого комплекса достигало 5 м). При этом заглубления в точках 3, 4, 6, 8, 9, 12 (см. рис. 1), наблюдались напряжения, превышающие в 2 раза расчетные, что могло привести к разрушению корабля.

При движении КПК в крыльцевом режиме на тихой воде при заглублении носового крыльцевого комплекса 2,5 м через каждые 35–45 с происходило самопроизвольное заглубление носового крыльцевого комплекса до 5,0 м с падением скорости до 0,6 от номинальной и с перегрузками по напряжению в вышеуказанных точках крыльцевого комплекса и последующим выходом на крыло. На указанных осциллограммах наблюдалась самопроизвольная перекидка носовых крыльев на угол (-5°), что и вызывало заглубление носового крыльцевого комплекса с последующей перекидкой носовых крыльев на угол ($+6^\circ$) и выходом корабля на крыльцевой режим движения.

Кроме того, анализ осциллограмм показал, что при движении КПК на волнении 5 баллов 3%-ной обеспеченности момент перекидки носовой плоскости на максимальный отрицательный угол совпадает с началом резкого роста крена на левый борт со скоростью $d\gamma/dt = 5^\circ/\text{с}$. Через 2 с крен превышал максимальную величину $\theta = 9^\circ$,

являющуюся критической по остойчивости КПК. Кроме того, в этой ситуации возникал момент рыскания, в результате которого корабль уходил с курса на угол $\varphi = 6,2^\circ$ со скоростью $d\varphi/dt = 3,1^\circ/\text{с}$. Исправная плоскость правого борта переключалась в ту же сторону для уменьшения крена, тем самым еще более заглубляя КПК по высоте движения (уменьшая клиренс). Наблюдались колебания по глубине погружения крыльевых устройств от 1 м до 5,3 м (почти до водоизмещающего положения), приводившие к колебаниям по крену 8° и курсу -5° левого борта и -12° правого борта. Данное явление, как и на тихой воде, сопровождалось падением скорости движения до $0,2 V_{\text{max}}$. Перед возникновением этого явления носовые крылья отклонялись вверх на (-5°) , при этом левая плоскость начинала переключаться через 3,5 с после правой. Кормовые закрылки переключались на 10 с на угол $+15^\circ$, а на 15-й секунде на -15° . Средний период колебаний по глубине погружения крыльевых устройств составлял, как и на тихой воде, 35–45 с.

Таким образом, при принятых разработчиком алгоритмах управления в процессе движения КПК в крыльевом режиме периодически возникают провалы по высоте (глубине погружения крыльевого устройства), сопровождающиеся значительными кренами, вплоть до предельно допустимых значений, приводящими к срабатыванию защиты и переводу КПК в водоизмещающее положение, дополнительно к недопустимым напряжениям в элементах конструкции крыльевого устройства и перегрузкам главной энергетической установки, а также к раскачке КПК по каналу высоты и при попадании на значительные волны к переключке носовых крыльев на отрицательные углы, вследствие чего происходило заглубление до 5,3 м.

Причинами такого поведения КПК, как показал анализ реализованных алгоритмов управления, являются следующие:

- наличие астатизма второго порядка в каналах крена, дифферента и глубины погружения крыльев, которые реализованы в каналах СУД двумя интегрирующими звеньями, первое из которых установлено в каналах управления, а вторым является интегрирующий привод;
- формирование сигналов угловых скоростей по крену и дифференту по сигналам разнесенных вертикальных акселерометров без использования датчиков угловых ускорений;
- комплексирование в каналах высоты движения КПК (погружения крыльевого комплекса) сигналов вертикальных акселерометров и высо-

томера, выдающего информацию о суммарном значении инерциальной высоты и высоты волнения моря;

- наличие высокочастотных колебаний акселерометров, которые засоряли каналы формирования корректирующих связей, а также накладывали ограничения на возможность изменения коэффициентов алгоритмов управления.

В результате разработчик СУД для выполнения требований к качеству работы и исключению аварийных ситуаций выполнил ряд мероприятий, основными из которых были следующие:

- исключение астатизма в каналах крена и дифферента (отключение интеграторов в секциях подсистем и перевод исполнительных приводов в позиционный режим);
- переход в канале высоты от астатизма второго порядка к астатизму первого порядка (за счет перевода исполнительных приводов в позиционный режим);
- расширение полосы пропускания и снижения колебательности акселерометров;
- использование для формирования сигналов коррекции в контурах стабилизации крена и дифферента сигналов датчиков угловых скоростей вместо сигналов вертикальных акселерометров.

Для исключений описанных выше явлений и обеспечения требований технических условий на поставку разработчик изменил алгоритмы управления, которые приняли следующий вид:

$$\delta_p = k_\phi \cdot \dot{\phi} + k_\phi \cdot \phi + k_{\dot{\phi}_0} \int \phi \cdot dt = 3 \cdot \dot{\phi} + 2,7 \cdot \phi + 0,2 \cdot h \int \phi \cdot dt, \quad (7)$$

$$\delta_k = k_\delta \cdot \dot{\delta} + k_\delta \cdot \delta = 9,2 \cdot \dot{\delta} + 5,6 \cdot \delta, \quad (8)$$

$$\delta_\gamma = k_\gamma \cdot \dot{\gamma} + k_\gamma \cdot \gamma = 1,8 \cdot \dot{\gamma} + 2,0 \cdot \gamma, \quad (9)$$

$$\delta_n^h = k_h \cdot h + k_{\dot{h}} \cdot \dot{h} + k_{\dot{h}_y} \cdot \int h \cdot dt + k_{\dot{h}_y} \cdot \int W_y \cdot dt = 2,4 \cdot h + 0,4 \cdot \dot{h} + 2,2 \cdot \int W_y \cdot dt, \quad (10)$$

где (7) и (8) – алгоритмы управления соответственно вертикальным рулём и кормовыми закрылками; (9) – алгоритм управления носовыми крыльями по крену; (10) – алгоритм управления носовыми крыльями по высоте; k_ϕ – коэффициент усиления по производной угла отклонения курса; $k_{\dot{\phi}_0}$ – коэффициент усиления по углу отклонения курса; k_δ – коэффициент усиления по углу отклонения дифферента; k_γ – коэффициент усиления по производной угла отклонения крена; k_γ – коэффициент усиления по углу отклонения крена; k_h – коэффициент усиления по высоте;

$k_{\int h}$ – коэффициент усиления интегральной составляющей по высоте; $k_{\int W_y}$ – коэффициент усиления интегральной составляющей по ускорению центра тяжести; δ_n^γ – угол отклонения носовых крыльев по крену; δ_n^h – угол отклонения носовых крыльев по высоте.

При данных алгоритмах СУД обеспечила следующее качество стабилизации КПК при его движении на всех КУВ при волнении моря 2,95 м 3%-ной обеспеченности, удовлетворяющее требованиям технических условий на поставку и исключающее аварийные ситуации по вине СУД:

- амплитуда углов бортовой качки составила $\pm 0,7-1,6^\circ$ ($\pm 2^\circ$ по техническим условиям);
- амплитуда углов килевой качки составила $\pm 0,4-0,8^\circ$ ($\pm 2^\circ$ по техническим условиям);
- ускорения составляют: в оконечностях вертикальные 0,25–0,7g, траверзные – 0,1–0,35g; в центре тяжести вертикальные – 0,15–0,4g, траверзные – 0,1–0,35g (1,0g по техническим условиям).

Кроме того, на всех КУВ при волнении моря 5 баллов 3%-ной обеспеченности КПК устойчиво выходил в крыльевой режим без перерегулирования по высоте, при этом:

- носовые крылья работали только в области положительных углов переключки, что свидетельствует об отсутствии на носовых крыльях отрицательных нагрузок;
- средние углы переключки носовых крыльев близки к балансирующим значениям при движении КПК в крыльевом режиме;
- время выхода КПК на крылья на всех КУВ составляло 30–35 с.

ВЫВОДЫ

Модернизированные алгоритмы управления в диапазоне волнений 3–5 баллов, позволили достичь требуемого качества стабилизации при любом диапазоне волнения моря, включая максимальное, и плавной работы исполнительных приводов. Кроме того, эти алгоритмы, обладая более простой структурой, предполагают:

- простую реализацию при изготовлении СУД, существенно снижающую трудоемкость работ и наладку на стенде;
- более простую методику отработки на КПК, что является существенным фактором при чрезвычайно ограниченном количестве выходов на максимальном волнении моря 5 баллов;
- исключение необходимости тщательной отработки СУД на корабле в условиях возможного влияния нелинейных факторов;

- исключение возможности появления ошибок на всех этапах отработки алгоритмов управления;
- повышение безопасности движения КПК на крыльях, так как исключается возникновение неожиданных изменений параметров движения КПК.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кользаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А.* Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. – Л.: Судостроение, 1980.
2. *Скорыходов Д.А.* Системы управления движением кораблей с динамическими принципами поддержания. – СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2000.
3. *Стариченков А.Л., Турусов С.Н., Скорыходов Д.А.* Метод оценки конструктивной безопасности судов на подводных крыльях // Морские интеллектуальные технологии. – 2017. – Т. 3. – № 3 (36). – С. 48–53.

4. *Амбросовский В.М., Зуев В.А., Лукомский Ю.А., Скорыходов Д.А., Стариченков А.Л., Шпекторов А.Г.* Повышение безопасности движения скоростных судов. – СПб.: СПГЭТУ «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2008.
5. *Каминский В.Ю., Маринов М.Л., Скорыходов Д.А., Турусов С.Н.* Исследование алгоритмической структуры системы управления движением судна на подводных крыльях // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 1. – № 1 (39). С. 153–164.
6. *Каминский В.Ю., Скорыходов Д.А., Стариченков А.Л.* Безотказность систем управления движением // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 1. – № 1 (39). – С. 185–195.

7. *Каминский В.Ю., Маринов М.Л., Скорыходов Д.А., Стариченков А.Л.* Управление движением судов на подводных крыльях в нормальных и аварийных ситуациях // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 2. – № 2 (40). – С. 127–136.
8. *Каминский В.Ю., Скорыходов Д.А., Маринов М.Л.* Расчёт параметров движения закрылков судна на подводных крыльях // Транспорт России: проблемы и перспективы-2019: Мат-лы Международ. науч.-практ. конфер., 12–13 ноября 2019 г., т. 1, Санкт-Петербург, ИПТ РАН, с. 319–325.
9. *Александров М.А., Богданов А.Г., Скорыходов Д.А.* Анализ нагрузочных моментов на исполнительных гидравлических приводах судна на подводных крыльях и экраноплана / ЦНИИ судового машиностроения, серия: технология и организация производства // Науч.-техн. сб. – 2018. – № 1 (42). – С. 3–19. ■

Д. А. СКОРОХОДОВУ – 80 ЛЕТ



Дмитрий Алексеевич Скорыходов родился 16 февраля 1943 г. в селе Русско-Добрино Клявлинского района Куйбышевской (ныне Самарской) области. В 1950 г. поступил в школу, а в 1960 г. закончил ее и поступил на работу монтером-телефонистом. В 1961 г. был принят на судомеханический факультет в ЛВИМУ им. адм. С. О. Макарова. В 1963 г. переведен на электротехнический факультет ВВМИУ им. Ф.Э. Дзержинского, которое закончил в 1966 г. В 1968 г. был назначен в 1 ЦНИИ МО в отдел «Комплексная автоматизация технических средств кораблей ВМФ», где последовательно занимал должности младшего, затем старшего научного сотрудника, начальника лаборатории и начальника отдела.

В 1974 г. защитил кандидатскую диссертацию.

В 1979 г. назначен на должность старшего научного сотрудника и руководителя группы автоматизации управления движением надводных кораблей и КДПП.

В 1980 г. Д. А. Скорыходов – старший научный сотрудник 1 ЦНИИ МО, в 1986 г. – начальник лаборатории «Управление движением подводных лодок, надводных кораблей и КДПП».

В 1987 г. в звании капитана 1 ранга назначен главным наблюдающим за комплексом работ по созданию технических средств диагностирования надводных кораблей и подводных лодок и по внедрению систем информационной поддержки. В 1988 г. защитил докторскую диссертацию. В 1992 г. ему присвоено ученое звание профессора по специальности «Системы обработки информации и управления». В 1994–1995 гг. – заместитель директора НТК № 1 НПО «Аврора» по научно-исследовательским работам.

С 1995 г. и по настоящее время работает ведущим научным сотрудником Института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко, с 1996 г. – главный научный сотрудник, а с 1997 г. заведующий лабораторией «Проблем безопасности транспортных систем». В 2004 г. назначен заместителем директора по научной работе, а с 2006 г. – главным научным сотрудником лаборатории «Проблем безопасности транспортных систем».

С 1994 по 2002 г. профессор Д. А. Скорыходов преподавал на кафедре «Комплексные системы управления техническими средствами подводных лодок» ВМИИ, а с 1997 г. еще и в СПГЭТУ (ЛЭТИ). Под его руководством и при непосредственном участии в 1 ЦНИИ МО и в Институте проблем транспорта им. Н.С. Соломенко выполнено более 70 НИР.

Д. А. Скорыходов – автор более 400 научных работ, в том числе более 280 статей и докладов, 22 монографий, 3 учебников, 5 учебных пособий, 2 методических указаний, 127 авторских свидетельств и 3 патентов на изобретения, из которых более 30 внедрены на кораблях ВМФ. Под его руководством более 16 научных сотрудников успешно защитили кандидатские и докторские диссертации. Более 30 лет он является членом различных диссертационных советов по присуждению ученых степеней и председателем государственных экзаменационных комиссий СПбГЭУ, СПГУАП, СПбГМТУ и СПбГМРФ им. адм. С. О. Макарова.

Д. А. Скорыходов награжден знаком «Почетный работник транспорта России», юбилейной медалью «100 лет профсоюзам России», медалями «150 лет академику А. Н. Крылову», «За вклад в реализацию государственной политики в области научно-технического развития» и другими, юбилейным знаком «В память 200-летия Управления водяными и сухопутными сообщениями».

Друзья и коллеги поздравляют Дмитрия Алексеевича Скорыходова со знаменательным юбилеем и желают ему благополучия и дальнейших научных достижений на благо отечественного флота.

Редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру здоровья и творческого долголетия. ■

В предыдущей серии статей мы продемонстрировали проведение расчетов манипулятора на прочность и подвижность с целью определения рабочих объемов и оптимизации конструкции робота.

Начиная с настоящей части новой серии статей, мы будем описывать процесс разработки и создания системы управления для манипуляторного устройства (МУ) МГМ-7.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Перед созданием системы управления важно иметь полное представление о конструктивных особенностях манипулятора, в том числе о его суставах, исполнительных механизмах и датчиках. Эта информация используется для определения типа системы управления, наиболее подходящей для МУ.

После того, как конструкция МУ и требования к выполняемым задачам определены, проводится выбор системы управления, которая будет использоваться для управления роботом, а также разрабатывается алгоритм, предназначенный для управления роботом.

Система управления для глубоководного манипулятора должна отвечать требованиям к надежности, учитывая тяжелые условия его эксплуатации.

РАЗНОВИДНОСТИ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРОМ

Наиболее часто в системах управления МУ используются микроконтроллеры, которые необходимы для выполнения следующих задач:

1) определение положения и движения манипулятора с помощью энкодеров или подобных датчиков;

2) вычисление управляющего сигнала на основе желаемого положения и движения руки, а также координат эндеффера*; передача управляющего воздействия на исполнительные механизмы, которые приводят манипулятор в движение.

Существует несколько способов управления манипулятором, в том числе:

- *управление джойстиком*, предполагает использование джойстика для непосредственного управления движениями манипулятора. Этот подход прост и интуитивно понятен, что делает его подходящим для приложений, где требуются быстрые и точные движения;
- *управление с помощью сенсорного экрана*, предполагает использова-

*Эндеффер (end effector) – конечная точка, в которой обеспечивается взаимодействие с объектами окружающей среды.

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ МАНИПУЛЯТОРОМ МГМ-7 С ПРОТОТИПИРОВАНИЕМ НА ОСНОВЕ ПОЛУНАТУРНОЙ МОДЕЛИ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ*. ЧАСТЬ 1

В.В. Потехин, канд. техн. наук, доцент,
П.К. Смирнов, аспирант, СПбПУ Петра Великого,
П.Г. Федоров, канд. техн. наук, зам. ген. директора –
директор Департамента проектно-конструкторских работ АО «МНС»,
Е.А. Черкашин, аспирант СПб ФИЦ РАН,
контакт. тел. (812) 320 3840

ние интерфейса сенсорного экрана для задания желаемого положения и ориентации эндеффера манипулятора. Этот подход полезен для приложений, где важна визуальная обратная связь, так как он позволяет оператору видеть движения манипулятора в реальном времени;

- *управление копирующей рукой*, предполагает использование копирующей руки для управления движениями МУ. Этот способ полезен для режимов работы, при которых манипулятор должен следовать сложным или точным траекториям, так как оператор может использовать копирующую руку для физической демонстрации желаемых движений [1];
- *управление с помощью перчатки*. Использование специальной перчатки, оснащенной датчиками, позволяющей оператору управлять манипулятором с помощью естественных жестов рук, обеспечивает интуитивно понятный интерфейс управления. Перчатка с тактильно осязаемой обратной связью по силе позволяет оператору ощущать воздействия, прилагаемые МУ при контакте с окружающей средой.

РАЗНОВИДНОСТИ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ

МУ могут использоваться для выполнения различных задач. В зависимости от сферы и условий их применения классифицируют следующие режимы управления:

- *ручной*, когда оператор управляет

отдельно каждым звеном МУ напрямую с помощью джойстика или другого устройства ввода. Оператор может видеть, что делает манипулятор через видеоканал или другие средства визуализации;

- *автоматизированный*, когда оператор предоставляет МУ некоторые указания или вводные данные для выполнения подводно-технических работ (ПТР), например, оператор может направить манипулятор в определенное место или отрегулировать скорость его движения;
- *автоматический режим управления*. Программирование МУ выполняется с целью задания заранее определенной траектории движения эндеффера или реализации алгоритма по заданному набору инструкций. Манипулятор может выполнять такие задачи, как сбор образцов или развертывание оборудования без вмешательства человека;
- *адаптивного управления*. МУ может работать вместе с оператором, обеспечивая совместное управление и сотрудничество при выполнении задач.

УПРАВЛЕНИЕ МУ С ПОМОЩЬЮ КОПИРУЮЩЕЙ РУКИ

Управление МУ с помощью копирующей руки, интегрированной в систему управления МУ, – это один из самых эффективных режимов работы. Данный способ позволяет выполнять ПТР различной сложности с высокой точностью позиционирования эндеффера.

Еще одним неотъемлемым достоинством использования копирующей

*Продолжение темы. Предыдущую статью см. «Морской вестник», 2022, № 2 (82)



Рис. 1. Копируемая модель манипулятора в масштабе 1:3

руки является возможность значительно увеличить скорость проведения ПТР по сравнению с ручным режимом работы за счет интуитивно понятных перемещений задающего органа оператором. Это имеет основополагающее значение в условиях проведения работ на обитаемых подводных аппаратах (ОПА).

В рамках проведения исследований в области разработки и создания системы управления МУ была спроектирована модель роботизированного манипулятора на основе электрических приводов в масштабе 1:3 (рис. 1), построенная с использованием аддитивных технологий фотополимерной печати.

Рассматриваемая система работает по принципу master-slave, где мастером (т. е. задающим органом) является копируемая рука, а слейвом (т. е. исполнительным органом) – МУ МГМ-7. В качестве датчиков обратной связи по положению используются логарифмические энкодеры, а в качестве контроллера управления – плата отечественного производителя.

УПРАВЛЕНИЕ МУ ПОСРЕДСТВОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Управление манипуляторами с помощью нейронных – это область исследований, объединяющая дисциплины

робототехники, машинного обучения и компьютерного зрения, которая при успешной разработке позволяет существенно упростить и автоматизировать управление манипулятором.

Для управления глубоководным манипулятором с помощью нейронных сетей на входе в сеть обычно используется сенсорная информация, полученная от систем компьютерного зрения [2]. Например, входными данными могут быть изображения, полученные с камеры, прикрепленной к манипулятору или с камеры, осуществляющей наблюдение из окружающей среды.

К явным преимуществам нейросетевого управления глубоководными манипуляторами относятся следующие:

- *улучшенное взаимодействие человека и робота.* Использование алгоритмов машинного обучения может также позволить роботам взаимодействовать с людьми более естественным и интуитивно понятным человеку образом. Например, роботизированная рука может использовать компьютерное зрение для распознавания и отслеживания движений человека-оператора, позволяя ему управлять рукой с помощью жестов или движений кисти;
- *повышенная надежность.* Алгоритмы машинного обучения так-

же могут быть использованы для повышения надежности управления роботизированными руками, позволяя им справляться с неожиданными ситуациями и адаптироваться к изменениям в окружающей среде. Например, если роботизированный манипулятор сталкивается с препятствием, он может использовать алгоритмы машинного обучения, чтобы научиться обходить его и продолжать выполнять свою задачу;

- *автономное управление.* С развитием передовых алгоритмов машинного обучения может стать возможным выполнение роботизированными руками сложных задач практически без участия человека. Это может быть особенно полезно при выполнении повторяющихся, опасных или требующих высокой точности задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов А. А., Жиденко И. Г., Кутлубаев И. М., Кияткин Д. В., Пермиков А. Ф. Копирующий манипулятор. Патент на полезную модель RU 135956 U1, опубл. 27.12.2013//Бюлл. 2013, № 36.
2. Чернотуб А. Н., Дзюба Д. А. Обзор методов нейрорууправления //Проблемы программирования. – 2011. – № 2. – С. 79–94. ■

В настоящее время в связи с введением ряда санкций от недружественных стран, сложилась достаточно непростая ситуация с поставкой комплектующих изделий для производства высокотехнологичной вычислительной техники, применяемой в составе изделий отечественного производства. Необходимость бесперебойных поставок даже в этих сложных условиях заставляет разработчиков искать альтернативные варианты, позволяющие обеспечить тактико-технические характеристики продукции на прежнем, досанкционном уровне.

Современные условия разработки высокотехнологичной продукции, особенно в области вычислительной техники, диктуют необходимость максимального использования комплектующих изделий высокой серийности, поставка которых ведется независимо от вводимых санкций. Такие комплектующие изделия, круг которых, правда, пока весьма ограничен, отечественной промышленностью все же выпускаются, а фирмы-производители готовы гарантировать их поставку на продолжительный период при условии заключения соглашений и согласования плана поставок.

НЕМНОГО О ПРОТОТИПЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Достаточно продолжительное время в составе серийных изделий АО «НПФ «Меридиан» применялась универсальная вычислительная машина (УВМ), поставляемая одним из предприятий отечественной промышленности, расположенным в Санкт-Петербурге. Данная УВМ неплохо зарекомендовала себя с точки зрения приемлемой стоимости, тактико-технических характеристик и надежности. Однако санкционное давление негативно сказалось на сроках поставки УВМ: производителю пришлось их увеличивать, вносить изменения в комплектацию, предлагая не то, что необходимо для полноценного функционирования серийного программного обеспечения, а то, что удалось приобрести. Естественно, в условиях, когда сроки поставки комплектующих изделий выходят за рамки договорных сроков поставки изделий АО «НПФ «Меридиан», потребность в сокращении сроков закупки комплектации стала жизненно необходимой. Именно поэтому предприятие выполнило инициативно ОКР «Разработка комплекта РКД унифицированной вычислительной машины для применения в изделиях, разрабатываемых и изготавливаемых АО «НПФ «Меридиан».

На рис. 1 показан внешний вид системного блока серийной покупной

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ (УВМ) С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

В.Н. Грачёв, гл. инженер,
А.Ю. Смирнов, канд. техн. наук, доцент, вед. инженер,
Б.Ю. Семёнов, гл. конструктор направления,
АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0368

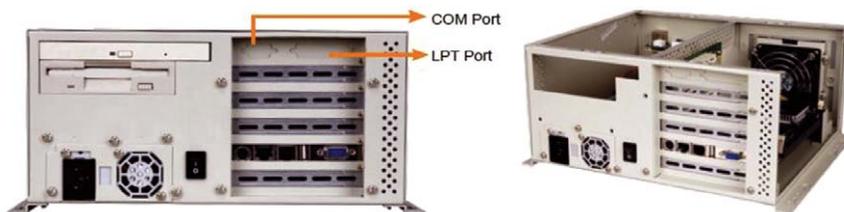


Рис. 1. Внешний вид покупной УВМ

УВМ, который используется при изготовлении изделий АО «НПФ «Меридиан». Системный блок УВМ устанавливается внутри управляющих приборов, отображение информации и управление работой УВМ осуществляется монитором с сенсорным экраном (рис. 2), размещенным на лицевой панели управляющих приборов.

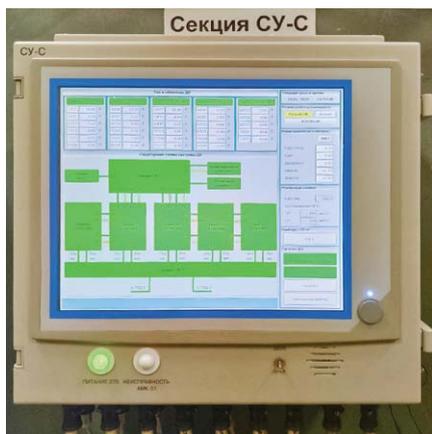


Рис. 2. Сенсорный монитор УВМ в составе прибора СУ-С изделия АМК-51 поставки АО «НПФ «Меридиан»

Питание УВМ осуществляется от источника постоянного тока напряжением 27 В, потребление мощности (согласно техническим условиям на УВМ) составляет не более 400 Вт. Реальные значения потребления мощности, полученные при испытаниях, составили порядка 100 Вт, тем не менее в составе УВМ предусмотрен вентилятор принудительного охлаждения составных частей изделия.

Интерфейсная часть УВМ, так же как и количество каналов каждого интерфейса, является переменной, в зависимости от исполнений (-01, -02, -03), поставляемых для изделий АО «НПФ «Меридиан», содержит следующие интерфейсы, используемые в изделиях: USB, DVI-I, RS-232, RS-485, (RS-422), Ethernet, GPIO, «Манчестер-2». Кроме этого, в состав УВМ входят интерфейсы LPT, PS/2, которые используются только для отладки программного обеспечения и в штатной работе не задействуются.

Комплектование ЗИП изделий также построено по разному принципу в соответствии с требованиями заказчиков: в одних изделиях ЗИП комплектуется составными частями УВМ, в других в состав ЗИП включается настроенная на этапе изготовления изделий УВМ в полной комплектации. С точки зрения эксплуатации удобнее, конечно, осуществлять комплектацию ЗИП изделием в сборе, поскольку такая замена на заказах будет обеспечена только путем переподключения внешних разъемных соединителей, в то время как замена путем демонтажа-монтажа составных частей УВМ требует снятия заводских пломб поставщика, перенастройки программного обеспечения. Конечно, комплектование ЗИП собранным изделием увеличивает стоимость поставки, но, как говорится, «за удобства нужно платить».

Чем хороша и чем плоха покупная УВМ с технической точки зрения? Сначала упомянем о ее преимуществах. Поскольку покупная УВМ – изделие

широкого применения, ее построение основано на модульном принципе, в котором «общение» модуля центрального процессора и периферийных устройств осуществляется по стандартизированной шине PCI. Соответственно, путем комплектования УВМ необходимым набором периферийных модулей можно решить любую задачу управления или мониторинга. Существует широкая номенклатура периферийных модулей, в том числе выполняющих самые экзотические функции, которые едва ли будут востребованы в продукции АО «НПФ «Меридиан», но, тем не менее, такая возможность имеется.

Главный технический недостаток покупной УВМ проистекает из ее главного достоинства. Любой периферийный модуль имеет в своем составе аппаратный контроллер шины PCI, и это совершенно необходимо для функционирования УВМ, но увеличивает ее габариты, энергопотребление, приводит к избыточности технических средств в приложении к конкретной продукции предприятия.

Поиск вариантов замены покупной УВМ, в числе прочего, учитывал возможность минимизации «промежуточных звеньев» между центральным процессором и периферийными устройствами.

ПОСТРОЕНИЕ УВМ НА ОСНОВЕ МОДУЛЯ «ЦИНК-20»

Итак, в качестве альтернативного базового унифицированного решения для построения УВМ, которой в соответствии с техническим заданием на ОКР был присвоен индекс «М1», выбран базовый вычислительный модуль «ЦИНК-20» поставки АО «АТРИ» (Санкт-Петербург). Внешний вид модуля «ЦИНК-20» показан на рис. 3.

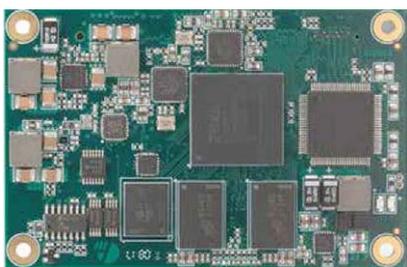


Рис. 3. Базовый вычислительный модуль «ЦИНК-20»

Комплект базовых вычислительных модулей типа «ЦИНК-20» поставляется по АСПТ. 460740.001 ТУ литеры «О1» с уровнями качества «приемка ВП МО» (а также «приемка ОТК») и является базовым вычислительным устройством для программно-аппаратных комплексов, предназначенных для ввода, обработки и вывода информации посредством встроенных интерфейсов

под управлением операционной системы, в том числе под управлением защищенной операционной системы реального времени ЗОСРВ «Нейтрино» КПДА.10964–01.

Модули «ЦИНК-20» в составе оборудования потребителя могут эксплуатироваться в условиях, установленных ГОСТ РВ 20.39.304 для групп исполнений 2.1.1 и 2.1.2, соответствующих по уровню внешних воздействующих факторов, предъявляемых к конечным изделиям.

Преимущества применения модулей типа «ЦИНК-20» для построения УВМ поясняет рис. 4, отражающий типовую внутреннюю структуру модуля.

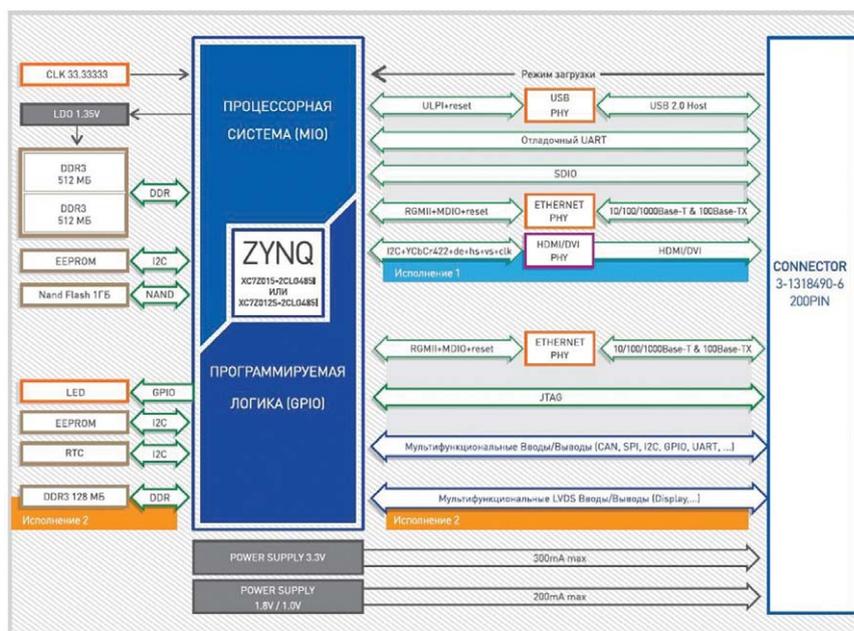


Рис. 4. Внутренняя структура модуля «ЦИНК-20»

Процессорная система (PS, «Processing System», на рис. 4 обозначена «MIO») и система программируемой логики (PL, «Programmable Logic», на рис. 4 обозначена «GPIO») объединены в одном кристалле. Магистральная шина, на основе которой организовано взаимодействие процессорной системы PS и периферийных устройств, также интегрирована в кристалл, что не накладывает на разработчика необходимость организации внешней шины по типу PCI, как это реализовано для заменяемой УВМ. Более того, наличие системы программируемой логики PL позволяет программным способом создать необходимый периферийный интерфейс и привязать его к выводам модуля «ЦИНК-20» в гибком режиме, т. е. с возможностью программным способом переназначить вывод, если такая необходимость возникнет.

Конструкция вариантов исполнения УВМ в случае применения базового вычислительного модуля «ЦИНК-20» также получается достаточно простой:

модуль устанавливается мезонинным способом на базовую плату с устройствами сопряжения внешних интерфейсов и подключается к ней через мезонинный разъем. Внешние подключения интерфейсов, подача питания осуществляются только через базовую плату внешних интерфейсов.

Несколько слов о программном обеспечении УВМ на основе модуля «ЦИНК-20». Системное программное обеспечение (СПО) разрабатывается, исходя из конфигурации электрических связей базовой платы внешних интерфейсов, и в дальнейшем, если конфигурация этих связей не меняется, СПО используется без корректировки. СПО представляет собой

загрузочный файл, устанавливаемый в первоочередном порядке и содержащий операционную систему с необходимыми драйверами для периферийных устройств.

Пользовательское программное обеспечение (ППО) разрабатывается на этапе применения УВМ в составе конкретных изделий. В составе ППО содержатся видеоклады информационно-управляющих экранов (в случае, если УВМ применяется совместно с дисплеем), обработчики протоколов сопряжения периферийных устройств, функциональные математические процедуры и другие программные блоки, поддерживающие функционал изделий.

КОМПЛЕКТ УНИФИЦИРОВАННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ (УВМ) М1

В результате выполнения ОКР было разработано изделие «Комплект унифицированных вычислительных моду-

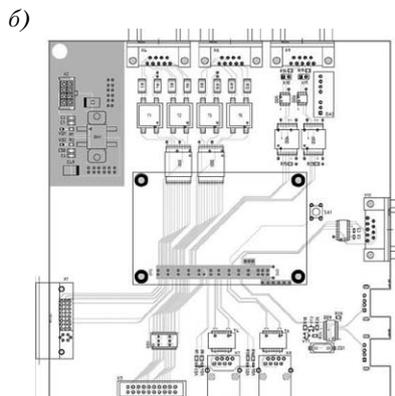
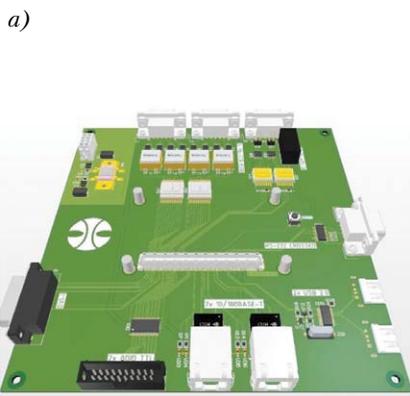


Рис. 5. Модуль М1 (основное исполнение):
а – внешний вид; б – расположение разъемных соединителей для внешних подключений

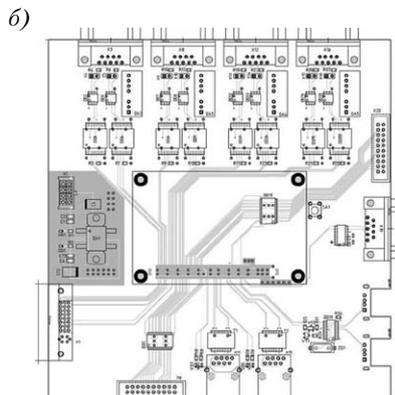
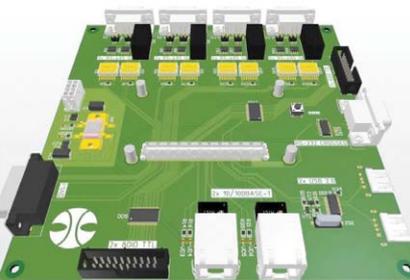


Рис. 6. Модуль М1 (исполнение «01»):
а – внешний вид; б – расположение разъемных соединителей для внешних подключений

лей (УВМ) М1» с переменным составом. Количество исполнений модулей М1 определяется при заказе. В комплект изделия входят модули М1 в следующих исполнениях: основное (рис. 5) и «01» (рис. 6).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЕЙ М1

Разработанные варианты исполнения модулей М1 имеют периферийные устройства для применения их

Таблица

Периферийные устройства для применения в изделиях АО «НПФ «Меридиан»

Наименование периферийного устройства	Основное исполнение М1	Исполнение «-01» М1
Видеоподсистема стандарта HDMI/DVI	1 канал	1 канал
Интерфейс Ethernet 100Mb/s	2 канала	2 канала
Интерфейс RS-485	2 канала	8 каналов
Интерфейс ГОСТ Р 52070-2003	2 магистрали	-
Интерфейс GPIO	2 × 8 каналов	4 × 8 каналов
Интерфейс RS-232	1 канал	1 канал
Интерфейс USB	2 канала	2 канала

в составе изделий АО «НПФ «Меридиан», они перечислены в таблице.

Питание исполнений модулей М1 осуществляется от источника постоянного тока напряжением 5 В, потребление тока составляет не более 2,5 А. Таким образом, потребляемая мощность составляет не более 13 Вт, что на порядок меньше, чем мощность потребления покупной УВМ. Это обстоятельство позволило отказаться от принудительного охлаждения УВМ и использовать пассивное охлаждение путем установки на базовый модуль «ЦИНК-20» радиатора.

К настоящему времени изделие «Комплект унифицированных вычислительных модулей (УВМ) М1» предназначено к выпуску в категории качества «Приемка ОТК». Следует надеяться, что в ближайшем будущем отечественной промышленности удастся освоить производство ряда микросхем в категории качества «приемка ВПМО», что позволит изготавливать полноценные изделия межвидового применения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное изделие «Комплект унифицированных вычислительных модулей (УВМ) М1» отвечает тактико-техническим требованиям, предъявляемым к изделиям АО «НПФ «Меридиан». Вместе с тем комплект модулей М1 является самостоятельным изделием, расширяющим товарный ряд предприятия и вполне пригоден для предложения сторонним потребителям, желающим найти недорогой и надежный вычислительный модуль с типовыми периферийными устройствами.

В планах предприятия – дальнейшее развитие УВМ М1, создание изделия «Графический вычислительный модуль», в котором будут объединены модуль М1 и сенсорный монитор встраиваемого типа. Это техническое решение сможет удовлетворить потребности заказчиков, которые считают необходимым приобретать функционально-законченные узлы «под ключ», не требующие самостоятельного выбора источника электропитания и средств отображения. ■

Системы принятия решений, основанные на методах теории нечетких вычислений [1], широко применяются в задачах управления техническими объектами, в том числе в задачах управления объектами судового машиностроения [2–11].

Парадигма нечетких вычислений базируется на понятиях интенсивности проявления категорий свойств объектов (процессов) и степени справедливости утверждений, оперирующих этими категориями. При проектировании нечеткого вычислителя разработчиком задаются категории значений («термы») входных сигналов X, категории значений («термы») выходных сигналов Y, а также утверждения («правила принятия решений») вида «Если(Категория X)–То(Категория Y)». В состав нечеткого вычислителя входят три подсистемы: подсистема фаззификации – «фаззификатор» (для каждого входного сигнала по его мгновенному значению формирует вектор интенсивностей его соответствия каждой из заданных входных категорий), подсистема логического вывода – «решатель» (для каждого правила по значениям мгновенной интенсивности его входных категорий формирует интенсивность проявления выходных категорий), подсистема дефаззификации – «дефаззификатор» (по вектору интенсивностей выходных категорий рассчитывает результирующее значение каждого выходного сигнала).

Проиллюстрируем сказанное примером описания нечеткой системы поддержания температуры в климатической камере с термоэлектрическим модулем

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ НЕЧЕТКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

А.Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой ТСМ,
А.В. Вегнер, ассистент кафедры ТСМ,
В.А. Карпенко, ассистент кафедры ТСМ,
Йе Мин Хтет, аспирант кафедры ТСМ,
Хтун Шайн, аспирант кафедры ТСМ, СПбГМТУ,
 контакт. тел. (812) 713 8405

– элементом Пельтье (рис. 1), которая может применяться в качестве узла судовых термоустановок.

На основе показаний датчика температуры устройством управления задаются направление и сила тока, протекающего через исполнительный элемент (термоэлектрический модуль), что обеспечивает возможность нагрева внутреннего объема камеры, его охлаждения, а также отсутствия термического воздействия на него. Заданы три категории температуры воздуха в камере: «пониженная», «нормальная», «повышенная», а также три категории управляющих воздействий на исполнительный элемент: «максимальный отрицательный ток» (обеспечивает максимальное охлаждение), «максимальный положительный ток» (обеспечивает максимальный нагрев), «нулевой ток» (обеспечивает отсутствие термических воздействий на внутренний объем камеры). Заданы три правила, обеспечивающие поддержание нормальной температуры.

На стадии фаззификации определяется степень интенсивности проявления каждой из заданных категорий входных сигналов в данный момент времени. Пусть для примера значение измеренной в данный момент температуры в климатической камере составляет 10 градусов. Это значение на 62% соответствует категории «пониженная температура» и на 38% – категории «нормальная температура».

На стадии логического вывода рассчитывается степень проявления категорий выходных сигналов в данный момент времени. В рассматриваемой ситуации правило №1, оперирующее первой категорией значений входного сигнала («пониженная температура»), будет справедливо на 62%, правило №2, оперирующее второй категорией значений входного сигнала («нормальная температура»), будет справедливо на 38%, правило №3, оперирующее третьей категорией входного сигнала («повышенная температура»), будет справедливо на 0%.

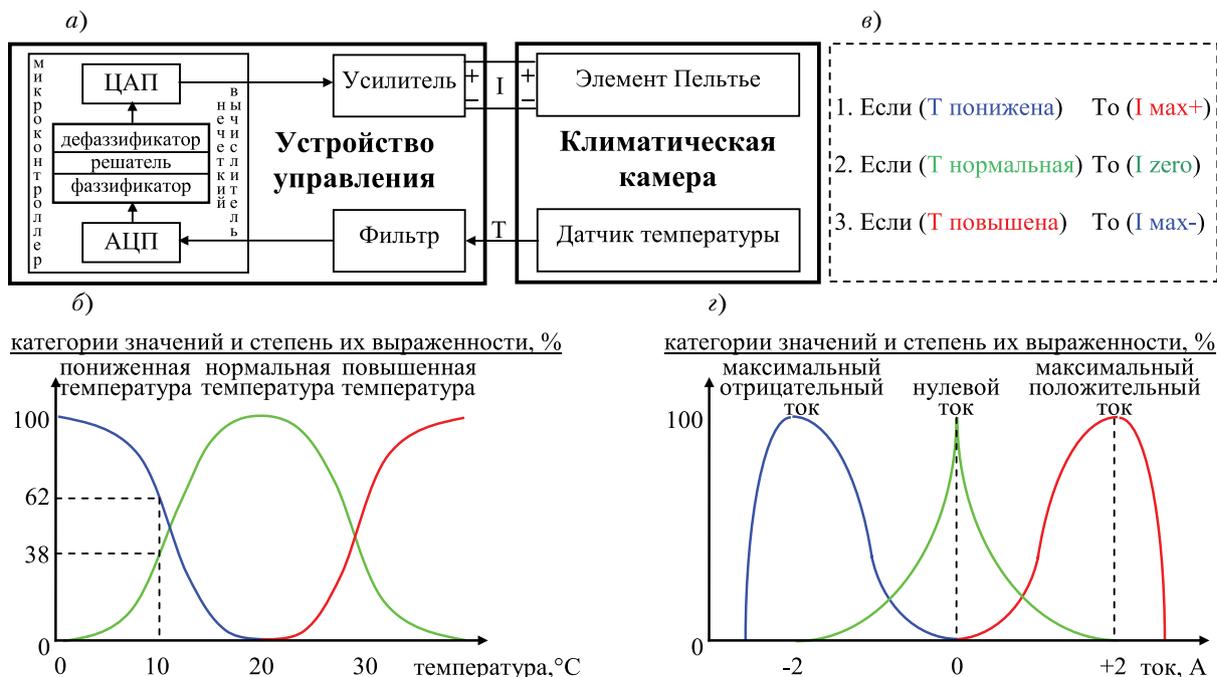


Рис. 1. Пример нечеткой системы управления: структурно-функциональная схема (а), входные категории (б), система правил (в), выходные категории (г)

Таким образом, интенсивность проявления выходной категории «максимальный положительный ток» в данный момент должна будет составлять 62%, а выходной категории «нулевой ток» – 38%.

На стадии дефаззификации посредством вычисления суперпозиции интенсивностей выходных категорий рассчитывается значение выходного сигнала в данный момент времени. Если в рассматриваемом примере под суперпозицией понимать операцию вычисления средневзвешенного значения, то результирующий ток будет равен 1,24 А (т.е. будет выполняться нагрев с интенсивностью в 62% от максимального).

Следует отметить, что математический аппарат теории нечетких множеств достаточно разнообразен: известны различные способы задания категорий (точечные, линейные, нелинейные) [12], различные методы обработки сложных условий [13], различные виды операций суперпозиции [14, 15]. Перечисленные элементы математического аппарата обладают разной степенью сложности, требуют разных объемов ресурсов для их реализации и обеспечивают при этом разную степень адекватности формируемых нечетких моделей. Известны оценки соотношений «качество–ресурсоемкость» для некоторых реализаций нечетких систем [16–18], однако теория формального синтеза оптимальных нечетких вычислителей до настоящего времени находится в стадии становления.

МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ НЕЧЕТКИХ ВЫЧИСЛИТЕЛЕЙ И СПОСОБЫ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Основываясь на принципе стадийности обработки информации в нечетких вычислителях, дадим краткий обзор распространенных способов описания трех перечисленных выше подсистем, входящих в состав нечеткого вычислителя.

Подсистема фаззификации. Термы входных переменных могут быть описаны посредством кусочно-линейных либо нелинейных функций (рис. 2); первый вид описания позволяет эффективно использовать память нечеткого вычис-

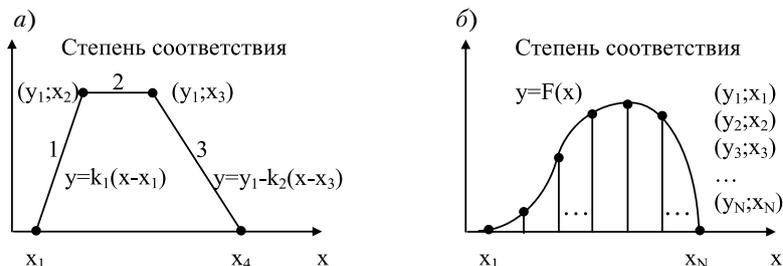


Рис. 2. Термы входных переменных: линейные (а) и нелинейные (б)

- 1 Если $(x1 \in T5 \vee x4 \in T2) \wedge (x3 \in T2 \vee x5 \in T7)$ $\underline{T}_0 (y2 \in T5) \& (y4 \in T6)$
- 2 Если $(x2 \in T9) \wedge (\neg(x1 \in T4) \vee x3 \in T6)$ $\underline{T}_0 (y1 \in T6)$
- ...
- N Если $(x1 \in T4 \vee x2 \in T2) \wedge \neg(x4 \in T1 \vee x3 \in T5)$ $\underline{T}_0 (y3 \in T8) \& (y4 \in T3)$

Рис. 3. Пример базы правил нечеткого вычислителя

лителя, поскольку для хранения информации о кусочно-линейном терме достаточно четырех точек, однако для определения степени соответствия значения входной величины этому терму на участках 1 и 3 необходимо выполнять вычисления. Кроме того, в случае приближенности кусочно-линейного описания результат нечетких вычислений также будет приближенным; второй вид описания позволяет с точностью, невысшей из достижимых, описать произвольный вид терма, однако требует либо затрат памяти на поточечное хранение развертки терма (при этом обеспечивается максимальный темп фаззификации), либо выполнения вычислений задаваемой извне функции, аналитически описывающей форму терма (при этом затрачивается дополнительное время на вычисления и расходуется память для хранения исполняемого кода функции).

Подсистема логического вывода.

Части «Если» правил могут оперировать несколькими входными переменными, при этом условия соответствия этих переменных своим категориям могут быть объединены различными логическими выражениями. Так, например, если частные условия некоторого правила объединены операцией «ИЛИ», степень справедливости всего правила определяется наибольшей степенью справедливости среди этих частных условий, а если операцией «И», то наименьшей. Кроме того, частные условия могут быть иерархически сгруппированы между собой посред-

ством логических операций (рис. 3). Разнообразие таких операций обеспечивает повышение степени гибкости описания, однако увеличивает объем памяти, необходимой для хранения базы правил; кроме того, при усложнении описания правила увеличивается время его обработки в нечетком вычислителе.

Подсистема дефаззификации. Помимо описанных выше вариаций способов задания термов переменных, существенное влияние на адекватность и вычислительную сложность выполнения дефаззификации оказывает тип операции суперпозиции. Так, на рис. 4 приведены 3D-графики поверхностей отклика двух нечетких вычислителей, имеющих идентичные описания входных термов, выходных термов, баз правил, и различающихся лишь применяемым методом дефаззификации.

Таким образом, поскольку не существует единственного оптимального сочетания вариантов реализации стадий нечеткой обработки информации, а теория синтеза оптимальных нечетких вычислителей (которая могла бы аналитически обосновать вариант такого сочетания для каждой конкретной задачи) находится в состоянии становления, для расширения возможностей разработки нечетких вычислителей и достижения субоптимальных показателей их качества необходимы инструментальные средства, предоставляющие разработчику возможность выбора метода реализации обработки информации

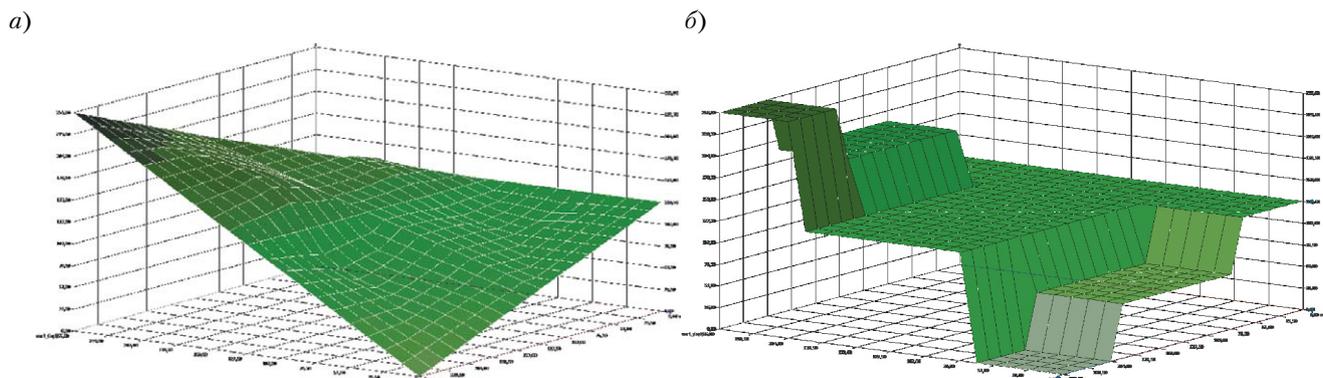


Рис. 4. Пример действия различных методов дефаззификации: СоМ (а) и МоМ (б)

для каждой стадии работы нечеткого вычислителя, и сочетанного использования этих реализаций.

Следовательно, актуальной задачей является разработка методов и средств автоматизированной генерации нечетких вычислителей с задаваемыми разработчиком сочетаниями вариантов подсистем фаззификации, логического вывода и дефаззификации, гарантирующими работоспособность нечеткого вычислителя и адекватность априорной оценки его эксплуатационных характеристик.

СТРУКТУРА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрим предлагаемый авторами вариант структурно-функциональной организации системы автоматизирован-

ного синтеза программной реализации нечетких вычислителей (рис. 5), стадии и этапы ее применения.

Первая стадия (этапы 1–4) обеспечивает формирование и пополнение библиотек готовых программных решений фаззификаторов, решателей и дефаззификаторов. Идея каждого нового прототипа компонента нечеткого вычислителя прорабатывается и анализируется в среде моделирования (этап 1), далее воплощается и отлаживается в виде программного кода для микроконтроллера (этап 2), загружается в микроконтроллер (этап 3) для тестирования и регистрации значений реальных эксплуатационных характеристик – точности, быстродействия и затрат памяти, после чего пополняет соответствующую библиотеку про-

граммных реализаций (этап 4).

Вторая стадия (этапы 5–7) обеспечивает автоматизированную генерацию программной реализации нечеткого вычислителя, удовлетворяющего заданным требованиям к конкретной системе управления. Из общей совокупности требований определяются относящиеся к нечеткой системе принятия решений (этап 5), из триады библиотек готовых решений фаззификаторов, решателей и дефаззификаторов селективируются решения, удовлетворяющие заданным ограничениям, агрегируются в нечеткий вычислитель и анализируются в целом (этап 6), после чего объединяются с иными программными компонентами для получения результирующей программной части устройства управления (этап 7).



Рис. 5. Процесс проектирования систем управления с автогенерируемыми программными подсистемами нечеткого принятия решений

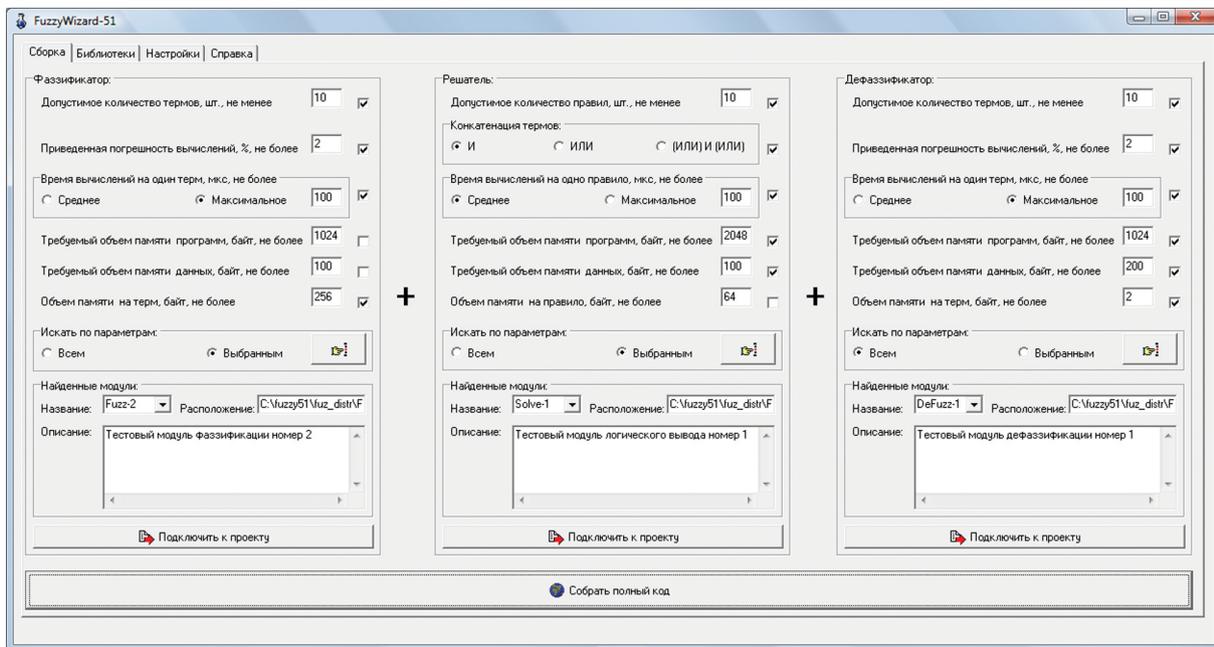


Рис. 6. Внешний вид главного окна инструментальной системы Fuzzy Wizard-51

Третья – заключительная стадия (этап 8). Целевое микроконтроллерное устройство с нечетким вычислителем передается в эксплуатацию, которая служит источником новых идей по совершенствованию нечетких вычислителей.

ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Авторами статьи в экспериментальных целях был разработан и продолжает совершенствоваться прототип инструментальной системы автоматизированной генерации программных реализаций нечетких вычислителей с установленными эксплуатационными характеристиками – FuzzyWizard-51 (рис. 6).

Пользователь системы – разработчик нечетких вычислителей – имеет возможность объявлять библиотеки готовых решений и выполнять необходимые манипуляции с ними (добавлять, исключать и модифицировать программные модули и их описания), осуществлять необходимые настройки параметров работы инструментальной среды, а на этапе генерации программного кода целевого нечеткого вычислителя – задавать требуемые ограничения по времени исполнения, объему кода и данных для каждого из трех типов модулей, и производить их отбор по выбранному критерию. После анализа найденных библиотечных модулей, удовлетворяющих интересующим разработчика ограничениям, осуществляется автоматическая сборка программного кода результирующего нечеткого вычислителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые авторами методы и средства автоматизации проектирования нечетких вычислителей с заданными

эксплуатационными характеристиками вносят вклад в расширение методологической и технологической базы инструментального обеспечения интеллектуальных систем принятия решений и управления, основанных на приложениях теории нечетких множеств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеган А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином, 2013. – 798 с.
2. Gaber M., El-Banna S.H., El-Dabah M., Hamad M.S. Intelligent energy management system for an all-electric ship based on adaptive neuro-fuzzy inference system // Energy Reports. – 2021. – Vol.7. – P.7989–7998.
3. Wang L., Liu Q., Dong S., Guedes Soares C. Effectiveness assessment of ship navigation safety countermeasures using fuzzy cognitive maps // Safety Science. – 2019. – Vol.117. – P.352–364.
4. Выигра А.В. Модернизация модели судовых холодильных установок применением нечеткой логики для регулирования температуры // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2017. – №2. – С.60–68.
5. Бордюк А.С., Жуков В.А., Железняк А.А. Создание лингвистических правил управления судном для повышения надежности работы СЭУ // Сб. науч. тр. проф. преподават. состава Государственного университета морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова, 2016. – С.36–44.
6. Шуганов Р.Д., Крашенинников В.Р., Маттис А.В. Синтез нечеткого регулятора для управления корабельной лебедкой // Автоматизация процессов управления. – 2014. – № 2(36). – С.9–15.
7. Леута А.А., Нгуен Ч.Ч., Нгуен М.Д. Решение проблем управления судовыми электроэнергетическими объектами с использованием методов оптимизации и нечеткой логики // Изв. СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2012. – №8. – С.56–63.
8. Надеев А.И., Буй Н.Х., Головкин С.В., Свиридов Ф.В. Моделирование судового дизеля как объекта управления на базе нечеткой

логики // Вестник Астраханского ГТУ. – Сер.: Морская техника и технология. – 2012. – №1. – С.109–116.

9. Kowalski Z., Arendt R., Meler-Kapcia M., Zielinski S. An expert system for aided design of ship systems automation // Expert Systems with Applications. – 2001, Vol.20. – Iss.3. – P.261–266.
10. Хватов О.С., Бурмакин О.А., Харитоновцев М.Ю. Судовая валогенераторная установка // Патент. РФ на полезную модель №47595, опубл. 27.08.2005 // Бюлл. 2005, №24.
11. Nechaev Yu.I., Siek Yu.L. Design of shipboard control system based on the soft computing conception // Lecture Notes in Computer Science. – 1998. – Vol.1416. – P.193–199.
12. Васильев А.Е. Встраиваемые системы автоматизации и вычислительной техники. Микроконтроллеры. – М.: Горячая линия-Телеком, 2018. – 590 с.
13. Fuzzy Logic Application HandBook // Mount Prospect: Intel Corporation, 1994. – 122 p.
14. Van Leekwijck W., Kerre E. Defuzzification: criteria and classification // Fuzzy Sets and Systems. – 1999. – Vol.108. – Iss.2. – P.159–178.
15. Saletic D., Velasevic D., Mastorakis N. Analysis of basic defuzzification techniques // Recent Advances in Computers, Computing and Communications, 2002. – P.247–252.
16. Ghosh S., Dubey S.K. Comparative Analysis of K-Means and Fuzzy C-Means Algorithms // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2013. – Vol.4. – Iss.4. – P.35–39.
17. Круглов В.В. Сравнение алгоритмов Мамдани и Сугэно в задаче аппроксимации функции // Математическая морфология: электронный математический и медико-биологический журнал. – 2001. – Т.3. – №4. – С.69–76.
18. Kim Y.H., Ahn S.Ch., Kwon W.H. Computational complexity of general fuzzy logic control and its simplification for a loop controller // Fuzzy Sets and Systems, 2000. – Vol.111. – Iss.2. – P.215–224. ■

В работах [1, 4] указана целесообразность использования результатов анализа параметров телеметрических (ТМ) измерений $X(1:10, t)$ в качестве модели интегральных динамических возмущений: угловых параметров линии визирования наблюдаемого объекта-цели $\psi_{\text{н}}(t)$, $\vartheta_{\text{н}}(t)$; угла поворота антенны сенсорных устройств ($\psi_{\text{а}}(t)$, $\vartheta_{\text{а}}(t)$) относительно АНПА, ориентации АНПА ($\psi(t)$, $\vartheta(t)$, $\gamma(t)$), а также $D_{\text{н}}(t)$ – дистанции от АНПА до объекта-цели, высоты и бокового отклонения $H_{\text{на}}(t)$ и $Z_{\text{на}}(t)$.

Измеряемые ТМ параметры движения АНПА содержат в себе различные составляющие:

1) программное движение – идеальное движение, соответствующее управляющим сигналам системы управления объектом как идеальным звеном или звеном с известной передаточной функцией;

2) движение по обработке возмущений (изменений параметров атмосферы в зависимости от высоты, ветра и движения объекта-цели) как следствие парирования изменений величины углов скольжения и атаки с целью движения по заданной программной траектории;

3) переходные процессы обработки управляющих сигналов. В силу инерционности объекта управления (АНПА или сенсорных датчиков) реальное движение соответствует программному движению только в установившихся режимах, когда переходным процессом можно пренебречь, в противном случае его необходимо учитывать;

4) возмущения внутри системы управления, оказывающие влияние на движение объекта и возникающие из-за нелинейных характеристик элементов контура управления, дискретизации сигналов управления по величине и времени, неконтролируемые, например упругие, колебания АНПА или антенны локатора.

Все составляющие движения АНПА влияют на угловое положение диаграммы направленности поискового устройства. Определив направление на цель (захват цели) относительно АНПА, контур сопровождения обеспечивает сопровождение направления на цель относительно корпуса АНПА в пределах диаграммы направленности антенны (ДНА) сенсорных устройств [5, 6] и дистанции наблюдения искомых объектов-целей.

В настоящей работе данные ТМ измерений: угловые координаты наблюдаемого объекта относительно АНПА $\psi_{\text{н}}(t)$ и $\vartheta_{\text{н}}(t)$; углы поворота антенны локатора относительно корпуса АНПА $\psi_{\text{а}}(t)$ и $\vartheta_{\text{а}}(t)$; углы поворота АНПА $\psi_{\text{на}}(t)$, $\vartheta_{\text{на}}(t)$, $\gamma_{\text{на}}(t)$; дистанция до объекта-цели $D_{\text{н}}(t)$, глубина погружения АНПА $H_{\text{на}}(t)$ и его боковое отклонение $Z_{\text{на}}(t)$ принимаются за реальные изменения траекторных параметров $X(t)$ с известным шагом по времени.

В качестве идеального изменения параметров на относительно коротком интервале 1–10 секунд принимается их равномерное изменение $X_{\text{н}}(t)$ от начальной до конечной точки на этом временном интервале или определяемая расчетным путем по известным координатам цели и АНПА [1]. Полагаем, что разность этих процессов $Xr(t)$ несет в себе информацию о перечисленных динамических помехах (возмущениях), интегральную оценку которых делаем при помощи анализа ТМ измерений каждого параметра. Для оценки частотных свойств интегральных динамических возмущений используется $Xrc(t)$ – центрированная функция $Xr(t)$.

Считаем известными значения параметров на временном интервале начала $t_{\text{н}}$ и окончания $t_{\text{к}}$ процесса, обусловленные алгоритмом функционирования системы управления.

МОДЕЛЬ ГЕНЕРАТОРА ДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА В РЕЖИМЕ МАНЕВРИРОВАНИЯ ПО ЗАДАННОЙ ПРОГРАММЕ

С.Н. Шаров, д-р техн. наук, проф., чл.-корр. РАН, гл. науч. сотрудник,
С.Г. Толмачев, канд. техн. наук, начальник НИЛ НКЦ,
В.В. Соловьева, вед. инженер,
 АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
 контакт. тел. (812) 578 9823, (812) 271 3061

Аналогичная ситуация возникает для угловых параметров движения АНПА, например, изменение углового положения АНПА в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также глубины при совершении маневров поиска для лучшего ракурса наблюдения, когда известно время начала $t_{\text{н}}$ и окончания $t_{\text{к}}$ наблюдения. Это может быть любой из угловых параметров $X(1:10, t)$, примеры анализа которых приведены в [1–4].

СИНТЕЗ ГЕНЕРАТОРА ИНТЕГРИРОВАННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА $Xrc(t)$

В [2] приведены спектры и $Xrc(3:4, t)$ изменения показаний углового положения ДНА ($\psi_{\text{а}}$ и $\vartheta_{\text{а}}$) в горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно на интервале наблюдения от $t_{\text{н}}$ до $t_{\text{к}}$, проиллюстрированные на рис. 1, а и б.

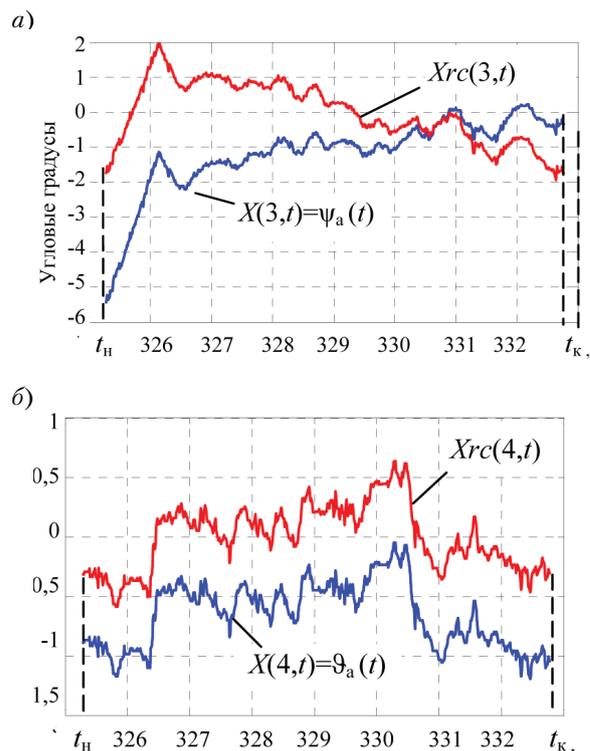


Рис. 1. Изменения показаний углового положения ДНА в горизонтальной (а) $\psi_{\text{а}}(t)$ и вертикальной (б) $\vartheta_{\text{а}}(t)$ плоскости (линии синего цвета) и центрированные отклонения их от равномерного изменения $Xrc[3:4, t]$ (линии красного цвета)

Анализ частотного спектра этих изменений показал преобладание низкочастотных гармоник на частотах в пределах единиц и долей Герца. (рис. 2, а и б).

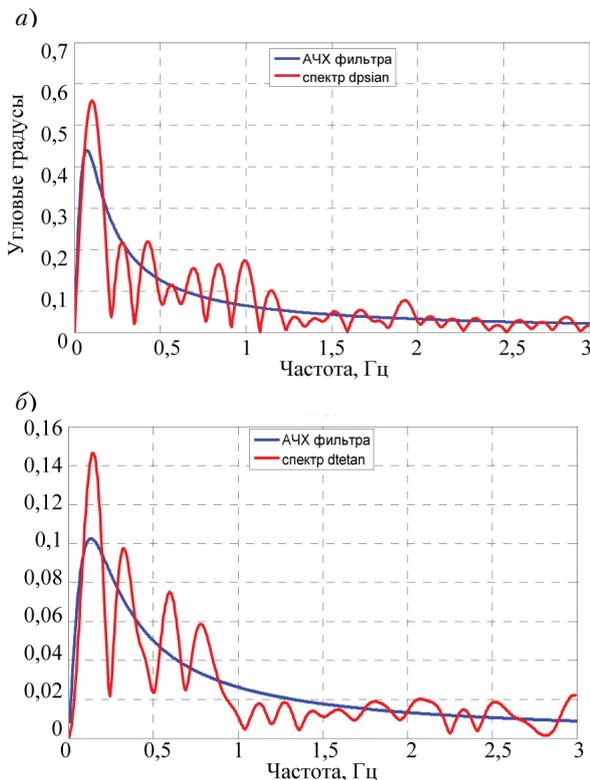


Рис. 2. Спектры переменной составляющей для углового положения ДНА:

а – $Xrc(3)$, ψ_a , $T_d = 1,9$ град/с, $T_1 = 2,16$ с, $\min \sum \text{МНК} = 1,3694$ у.е., $\sigma[Xrc(3)] = 0,877$ град.; б – $Xrc(4)$, θ_a , $T_d = 0,25$ град/с, $T_1 = 1,22$ с, $\min \sum \text{МНК} = 0,1241$ у.е., $\sigma[Xrc(4)] = 0,877$ град. и АЧХ аппроксимирующих фильтров

Указанные спектры характеризуют частотные свойства интегральной динамической помехи, воспринимаемой локатором как аддитивный шум.

Спектры переменной составляющей $Xrc(n = 1:3)$ в диапазоне частот до 3 Гц получены для параметров из массива ТМ измерений при числе измерений $N = 600$ и числе оцениваемых по амплитуде гармоник спектра $N_f = 600$ с шагом 0,005 Гц. На рис. 2 спектры выделены красным цветом: а – $Xrc(3)$, соответствующий ψ_a , и б – $Xrc(4)$, соответствующий θ_a .

Современные программно-аппаратные средства позволяют синтезировать сигналы с заданной спектральной плотностью. Наиболее востребованным является сигнал типа «белый шум» с заданной спектральной плотностью в требуемом диапазоне частот [1–7]. Это обстоятельство наталкивает на мысль о формировании отклонений программного движения АНПА, пропуская белый шум через фильтр с заданной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ), которая определяется на основании спектрального анализа функции $Xrc(t)$.

Пример такой аппроксимации огибающей спектра $dX(t)$ при помощи линейных фильтров второго порядка показан на рис. 2.

Выбором передаточной функции фильтров удалось [1,7] получить аппроксимацию низкочастотной части спектра от 0 до 5 Гц в ряде случаев X [8:10] с точностью не хуже 10% от максимальных значений на частотах, соответствующих экстремальным значениям АЧХ спектра ТМ измерений.

Для аппроксимации частотных свойств $dXrc$ предлагается использовать линейный фильтр с передаточной функцией $W_\phi(p) = T_d p / (1 + T_1 p)^2$, где p – оператор дифференцирования. АЧХ фильтра $A_\phi(\omega) = T_d \omega / (1 + (T_1 \omega)^2)$ аппроксимирует низкочастотную часть спектра.

Значения T_d и T_1 выбираются методом наименьших квадратов (МНК), обеспечивая минимальное значение суммарной квадратичной разницы амплитуд гармоник спектра $A_s(f_i)$ и соответствующих по частоте $A_\phi(f_i)$ – амплитуде АЧХ фильтра аппроксимации при $N = 600$ и $N_f = 600$. Числовые значения параметров фильтров T_d и T_1 , указаны на рис. 2, а – $Xrc(3)$, соответствующие отклонениям ψ_a , и рис. 2, б – $Xrc(4)$ – θ_a .

В качестве основы генератора интегрированного динамического шума выберем белый шум $U_{\text{бнм}}(1: N) = \text{randn}(1, N)$ с интервалом квантования dt за время наблюдения сигнала $N \cdot dt$. Среднее квадратичное значение этого шума $\sigma_{\text{бнм}} = 1$.

Пропустим сигнал шума $U_{\text{бнм}}$ через фильтр с передаточной функцией W_ϕ . На выходе фильтра сигнал $X_\phi(1: N)$ имеет значение σ_ϕ , отличное от σ_x сигнала Xrc :

$$\sigma_\phi = (\sum (X_\phi(i = 1: N)^2) / N)^{0.5};$$

$$\sigma_x = (\sum (Xrc(i = 1: N)^2) / N)^{0.5}.$$

Нормируем сигнал X_ϕ на выходе фильтра по σ_x и получаем модель интегрального сигнала динамического шума на временном интервале $t_{\text{нк}}$:

$$U_x(1: N) = (X_\phi(i = 1: N) \sigma_x / \sigma_\phi).$$

Таким образом, получим $U_x(1: N)$ – дискретный сигнал шума, который по спектральному составу и дисперсии соответствует $Xrc(1: N)$.

СИНТЕЗ ГЕНЕРАТОРА ИНТЕГРИРОВАННОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ШУМА НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ХРС(Т)

В отличие от согласования частотного спектра $Xrc(t)$ как свойства случайного процесса с генератором белого шума, воспользуемся авторегрессионной моделью для формирования реализаций динамического шума. Авторегрессия – это модель временного ряда, в которой наблюдения на предыдущих временных шагах используются в качестве входных данных для уравнения регрессии при прогнозировании значения на следующем временном шаге. Используем приближенную линейную модель авторегрессии порядка p в виде передаточной функции фильтра [8]:

$$H(z) = \sigma_{\text{бнм}} / (1 + a_2 z^{-1} + a_3 z^{-2} + \dots + a_{p+1} z^{-p}).$$

Порядок фильтра p и его коэффициенты a_i определяются на основе автокорреляционных свойств исходного процесса $Xrc(t)$.

На рис. 3 в качестве примера приведены три реализации процесса $Xrc(2, t)$, полученные с помощью модели авторегрессии шестого порядка свойств исходного процесса $Xrc(t)$, трех маневров АНПА у одного объекта-цели в разное время и различных гидрологических условиях.

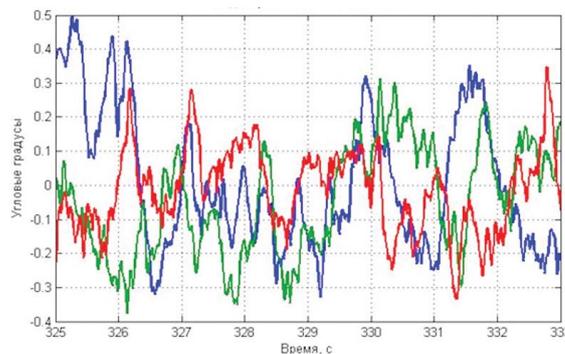


Рис. 3. Реализация процесса $U_x(2, t)$, полученные с линейной моделью авторегрессии

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Два рассмотренных способа синтеза генератора интегрированной динамической помехи приводят к схожим результатам.

Недостатком спектрального способа по сравнению с корреляционным является большая чувствительность к равномерности спектральной плотности белого шума. Поэто-

му в [7] рекомендована методика дополнительной коррекции параметров фильтра для большей схожести $U_X(1; N)$ и $X_{ст}(1; N)$ во временной области.

Корреляционный способ свободен от этого недостатка, однако число подбираемых параметров фильтра здесь существенно больше.

Общим недостатком принимаемых моделей шума является их детерминированность, т. е. основная низкочастотная часть их и числовые значения параметров справедливы только для конкретных частных условий и для статистического моделирования непригодны. Для устранения этого недостатка необходимо иметь представительную выборку ТМ измерений натуральных испытаний.

Другой путь – провести декомпозицию «интегрированной помехи», установив все причинно-следственные связи от физических причин возникновения возмущений до взаимовлияния на подсистемы и, в конечном итоге, на управление линией визирования цели и движением АНПА. Эти вопросы выходят за рамки настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаров С.Н., Толмачев С.Г., Соловьева В.В. Синтез генератора динамического шума сигналов управления беспилотного летательного аппарата в режиме сопровождения заданного объекта. – Сб. науч. работ X Всеросс. науч. конфер. «Системный синтез и прикладная синергетика», п. Нижний Архыз, КЧР, Россия, 28.09–02.10.2021 г., Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Изд. Юж. фед. ун-та, 2021. – С. 108–111.
2. Незамутдинов Ф. Ф. Общие вопросы построения системы семантического сжатия информации в гидрологическом комплексе

мониторинга//Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы: Науч.-техн. сб. ст. – СПб.: АО «Концерн «Гранит-Электрон». – 2015. – Т. 2. – Вып. № 22. – С. 11–123.

3. Толмачев С.Г., Шаров С.Н. Продукционная модель освещения обстановки группой автономных необитаемых подводных аппаратов. – Сб. тр. III Науч.-практ. конфер. «Радиоэлектронное и ракетное вооружение ВМФ: Взгляд в будущее», 14 июня 2018 г.: Прилож. к науч.-техн. сб. «Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы». – СПб.: АО «Концерн «Гранит-Электрон». – 2018. – Вып. № 30 – С. 43–53.
4. Поленин В.И. Описание и практическое использование научного открытия «Явление изменения уровня обратного рассеяния электромагнитного излучения лидара и радара в области гидрофизических возмущений от подводного движущегося объекта»: Монография. – СПб.: Медианапир, 170 с.
5. Мартынов В.Л., Кречетова Э.В., Шиманская М.С., Головкин Л.В. Новые технологии для совершенствования телекоммуникаций в гидросфере//Корабельные и бортовые многоканальные информационно-управляющие системы: Науч.-техн. сб. ст. – СПб.: АО «Концерн «Гранит-Электрон». – 2022. – Вып. № 38 – С. 68–82.
6. Боровик А.И., Наумов Л.А. Компонентно-ориентированная система управления АНПА ММТ-2012//Изв. ЮФУ: Техн. науки. – 2014. – Вып. № 3 (152). – С. 102–112.
7. Шаров С.Н. Модели интегральной оценки динамического шума сигналов управления летательного аппарата. – Сб. трудов V Науч.-практ. конфер. РАРАН «Радиоэлектронное и ракетное вооружение ВМФ: Взгляд в будущее». – СПб.: АО «Концерн «Гранит-Электрон», 2020. – С. 96–108.
8. Дьяконов В.П. MATLAB и SIMULINK для радиоинженеров. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 976 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

Судостроение сегодня – одна из ключевых отраслей производства. В период ограничения ресурсов и импортозамещения актуальным становится продление безопасного надежного эксплуатации судостроительного производства. При перевозке жидкого чугуна из доменного цеха в конвертерный на металлургических предприятиях проводятся мониторинг температуры жидкого чугуна и определение его веса. При этом возникает ряд проблем, приводящих к сбору неточных данных о весе чугуна из-за ряда таких факторов, как кривизна железнодорожного полотна, субъективный фактор технолога, погрешности тензодатчиков и др. [1–3]. Автоматизированные системы контроля количества перевозимого чугуна, использующие тензометрические датчики для определения веса [4–5], характеризуются низкой точностью из-за того, что при таком способе измерения веса не учитываются толщина слоя шлака и изменения внутреннего объема миксерного ковша для транспортировки чугуна. Способ измерения веса чугуна, основанный на его вычислении по времени начала и окончания заливки металла в миксерный ковш, тоже характеризуется значительной ошибкой из-за различных интенсивности заливки чугуна. Поэтому актуальной становится задача разработки информацион-

АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ В ПРОЦЕССЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ

В.А. Емельянов, д-р техн. наук, проф. ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ»,

С.Г. Черный, канд. техн. наук, доцент Керченского государственного морского технологического университета, доцент Санкт-Петербургского государственного морского технического университета,

Н.Ю. Емельянова, канд. техн. наук, доцент ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ»,

К.В. Громов, инженер Керченского государственного морского технологического университета, аспирант Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, контакт. тел. +7 (978) 034 6098, +7(985) 038 5128, v.yemelyanov@gmail.com, sergiiblack@gmail.com, kostiantyn_gromov@mail.ru

ной системы определения веса жидкого чугуна, которая позволит уменьшить погрешности при этом.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСА ЖИДКОГО ЧУГУНА

В работе выполнено высокоуровневое проектирование архитектуры информационной системы определения веса жидкого чугуна, которая представляет собой описание ее функциональных модулей и

компонент программного обеспечения, а также связей между ними. Проектируемая информационная система определения веса жидкого чугуна основана на разработанном авторами подходе к нейросетевой обработке данных о жидком металле, представленном в работе [6].

Для отражения архитектуры системы построены:

– модель использования информационной системы определения веса (массы) жидкого чугуна в виде диаграммы вариантов использования;

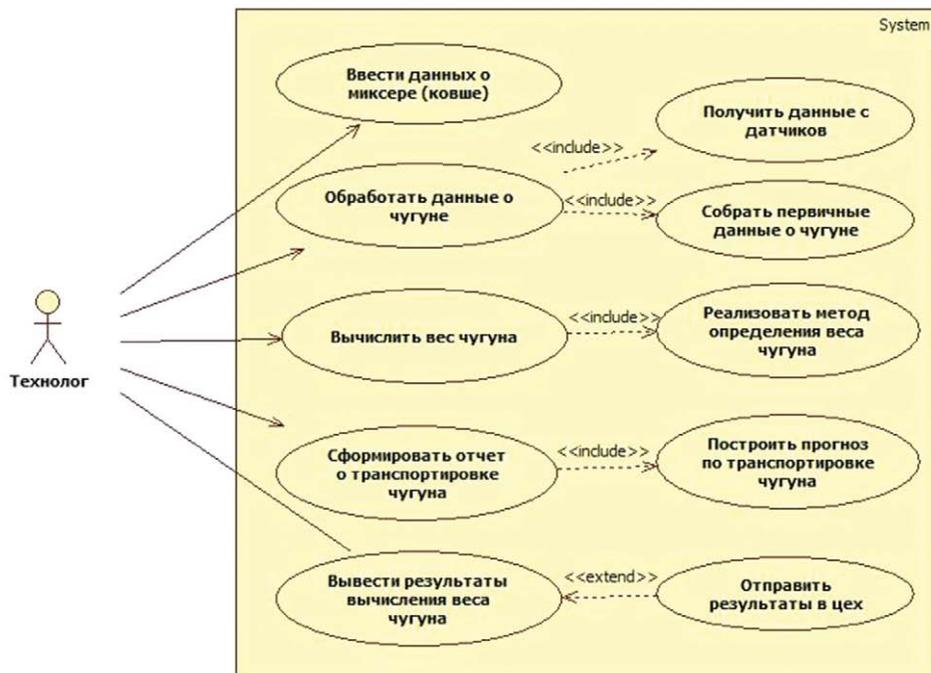


Рис. 1. Модель использования информационной системы определения веса жидкого чугуна (диаграмма вариантов использования)

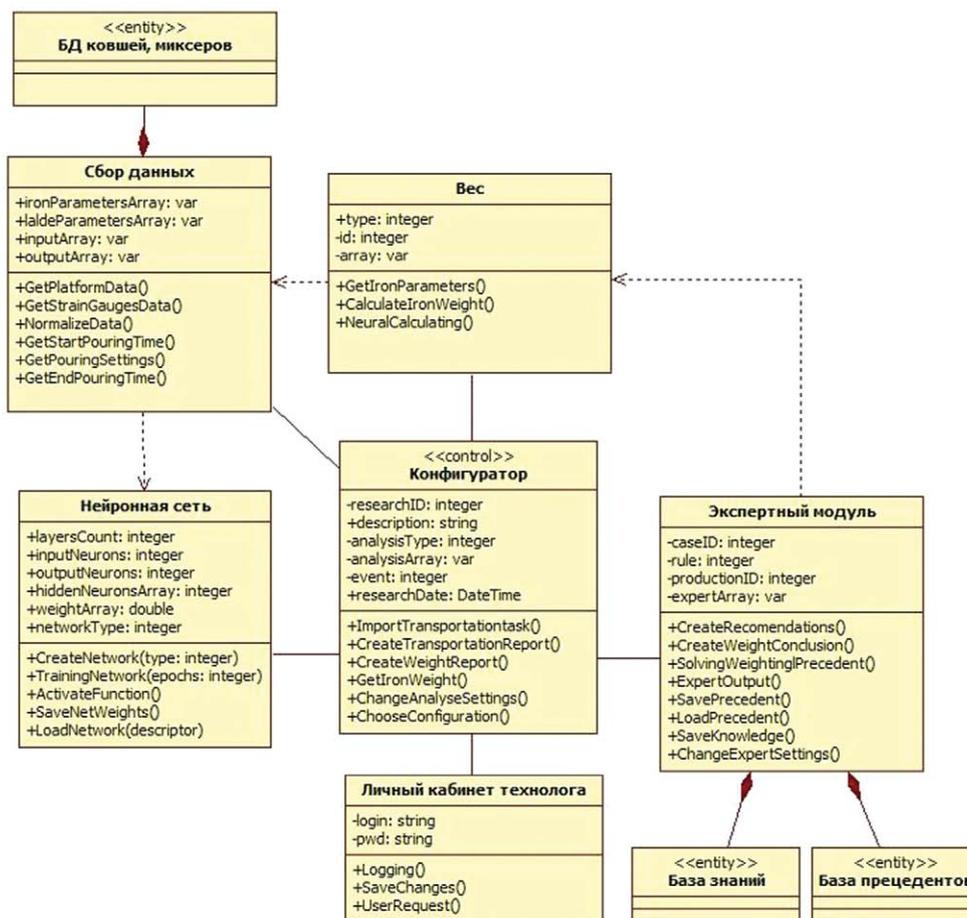


Рис. 2. Концептуальная модель информационной системы определения веса жидкого чугуна (диаграмма классов этапа анализа)

- концептуальная модель для отражения статической структуры системы в виде основных сущностей, на которые возлагается функционирование информационной системы;
- верхнеуровневая модель архитектуры информационной системы определения веса жидкого чугуна.

Проектирование функционала информационной системы определения веса жидкого чугуна выполнено с помощью унифицированного языка моделирования UML в программном обеспечении StarUML. При проектировании данного функционала построено 10 диаграмм вариантов использования систе-

мы. Для отражения обобщенной модели использования системы построена диаграмма вариантов, приведенная на рис. 1.

В модели выделена роль пользователя информационной системы «Технолог» и пять основных вариантов использования информационной системы для вычисления веса транспортируе-

мого жидкого чугуна: «Ввести данные о миксере (ковше)», «Обработать данные о чугуне», «Вычислить вес чугуна», «Сформировать отчет о транспортировке чугуна», «Вывести результаты вычисления веса чугуна». Каждый вариант использования имеет свою декомпозицию и сценарии по каждой функции.

Для отображения статической структуры информационной системы определения веса жидкого чугуна построено шесть диаграмм этапов анализа, отражающие основные сущности (классы), на которые возлагается реализация функций информационной системы. Общая диаграмма классов, отражающая концептуальную модель информационной системы определения веса жидкого чугуна, приведена на рис. 2.

На диаграмме классов информационной системы определения веса жидкого чугуна выделены следующие сущности:

- «Личный кабинет технолога», содержит операции по регистрации нового пользователя-технолога и входа в личный кабинет уже существующего пользователя-технолога;
- «Конфигуратор», содержит операции конфигурирования процесса определения веса чугуна. Выполнение операции `ImportTransportationTask()` позволяет загружать в информационную систему план-задание на транспортировку жидкого чугуна; операции `CreateTransportationReport()` – реализовать функцию «Сформировать отчет от транспортировки чугуна»; операции `CreateWeightReport()` составить отчет с результатами взвешивания чугуна; операции `SendReport()` – реализовать функцию «Отправить результаты в цех»; операции `ChangeAnalyseSettings()` – изменить параметры проводимого исследования; операции `ChooseConfiguration()` – выбрать один из предустановленных профилей, которые настроены на данные о чугуне из разных источников (платформа, тензодатчики).

Сущность «Вес» содержит операции определения веса жидкого чугуна. Выполнение операции `GetIronPartameters()` позволяет реализовать функцию «Собрать данные о чугуне»; операция `CalculateIronWeight()` запускает процесс определения веса чугуна на основе первичных данных; реализация операции `NeuralCalculating()` – выполнить нейросетевую оценку веса транспортируемого жидкого чугуна.

Сущность «Сбор данных» содержит операции по сбору информации о взвешиваемом чугуне и миксерном ковше для перевозки чугуна и позволяет выполнить набор функций, связанных с вариантами использования «Ввести данные о миксере (ковше)» и

«Получить данные о чугуне». Операция `GetPlatformData()` реализует действие по импортированию данных с весоизмерительной платформы; операция `GetStarinGausesData()` – действие по импортированию данных с тензодатчиков миксерного ковша; `NormalizeData()` – действие по нормализации импортированных данных о чугуне. Операция `GetStartPouringTime()` позволяет получить данные о времени начала заливки чугуна в ковш; операция `GetEndPouringTime()` – данные о времени окончания заливки чугуна в ковш;

операция `GetPouringSettings()` – данные о процессе заливки чугуна в ковш (например, массив интенсивностей).

Поскольку информационная система предполагает использование нейронных сетей для проведения металлографического анализа, в модели выделена сущность «Нейронная сеть», содержащая атрибуты и операции для создания и обучения таких сетей.

Сущность «Экспертный модуль» содержит операции для формирования экспертного заключения и генерирования рекомендаций относительно

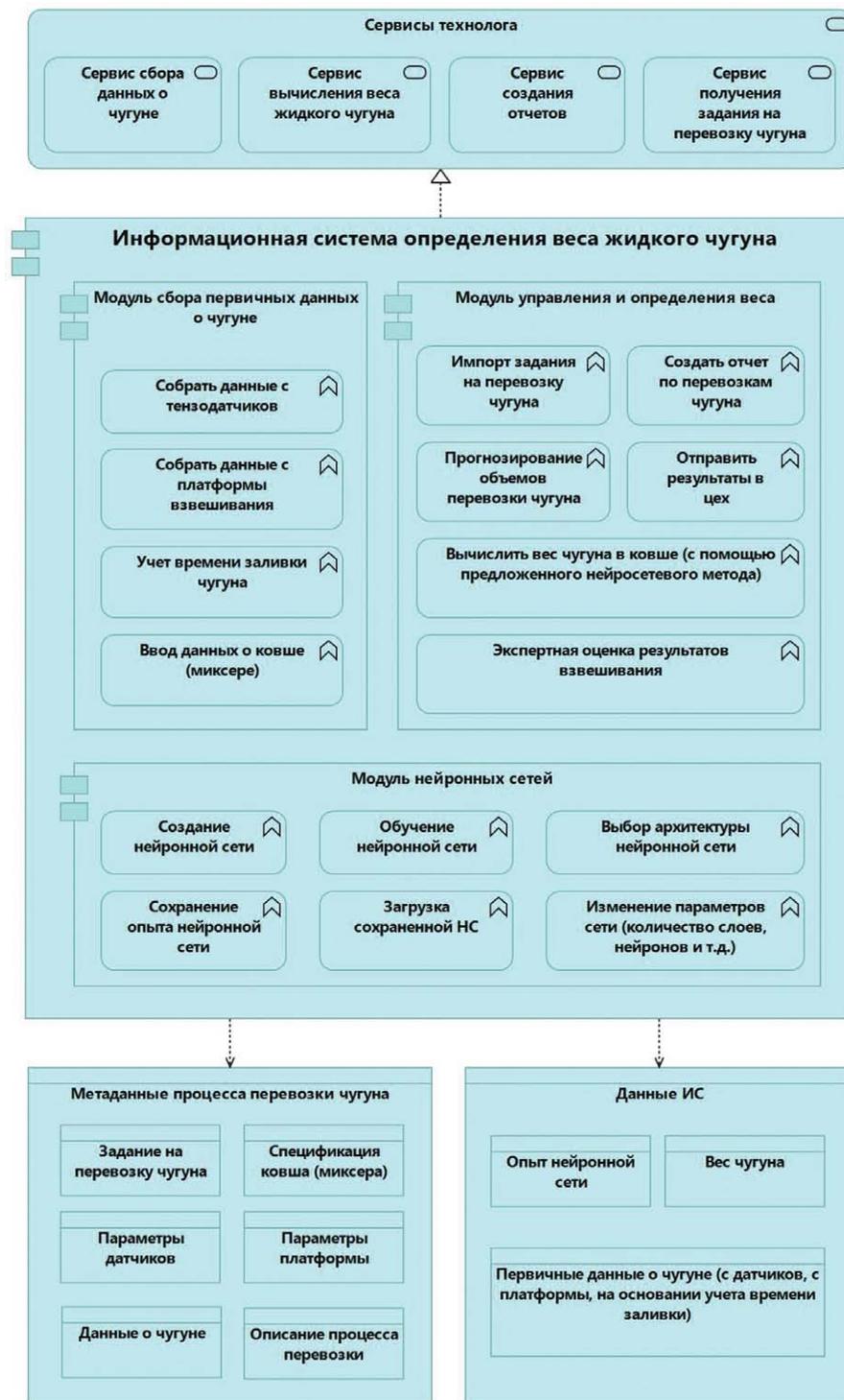


Рис. 3. Верхнеуровневая архитектура информационной системы определения веса жидкого чугуна (функциональная модель)

используемых миксерных ковшей при перевозке жидкого чугуна. Операция SolvingWeightPrecedent() позволяет выполнить поиск наиболее подобного прецедента по взвешиванию чугуна из базы прецедентов; операция SavePrecedent() – перенести в базу прецедентов новый прецедент, аналог которого не был найден в ней. Проводимые исследования металлов могут сопровождаться выявлением новых знаний в предметной области, для сохранения которых предназначена операция SaveKnowledge(). Для изменения настроек экспертного модуля используется операция ChangeExpertSettings().

На рис. 3 представлена верхнеуровневая модель архитектуры информационной системы металлографического анализа качества металлов, выполненная в программном средстве Archi в языке моделирования ArchiMate.

Были выделены следующие ключевые компоненты архитектуры информационной системы, каждый из которых обладает некоторым набором функциональностей:

- модуль сбора первичных данных о чугуна;
- модуль управления и определения веса жидкого чугуна;
- модуль нейронных сетей.

Пользователю информационной системы (технологу) доступны следующие application-сервисы приложения:

- «Сбор данных о чугуна»;
- «Вычисление веса жидкого чугуна»;
- «Создание отчетов о взвешивании и транспортировке чугуна»;
- «Получение задания на транспортировку жидкого чугуна».

В ходе проектирования выделены отдельные категории метаданных, которые будут использоваться информационной системой при ее функционировании. К основным данным отнесены:

- документ-задание на транспортировку жидкого чугуна;
- спецификация ковша (миксера) с описанием его свойств и режимов эксплуатации;
- параметры тензодатчиков для определения веса чугуна;
- параметры весоизмерительной платформы;
- исходные данные и описание чугуна;
- описание процесса транспортировки жидкого чугуна.

Разработка информационной системы определения веса жидкого чугуна В работе предлагается информационная система определения веса транспортируемого жидкого чугуна, структура которой приведена на рис. 4.

В соответствии с рис. 4 в пункте мониторинга первичные данные, такие как

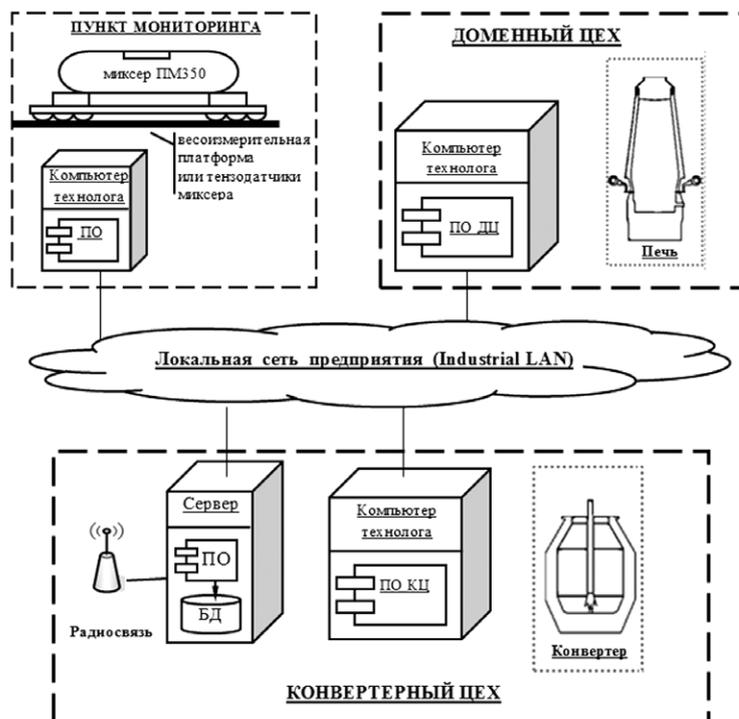


Рис. 4. Структура информационной системы определения веса жидкого чугуна в структуре судостроительного агломерата

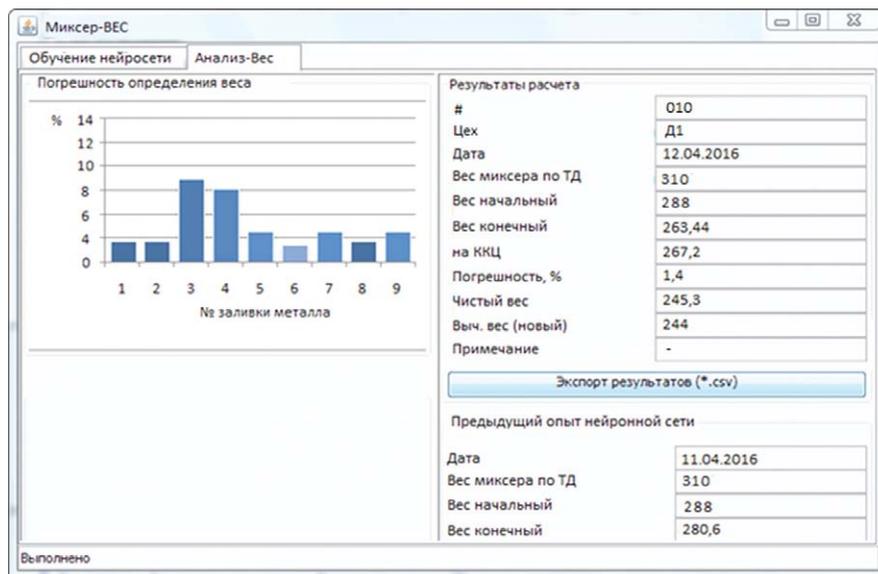


Рис. 5. Разработанное программное обеспечение информационной системы определения веса

начальный вес, вес миксера, поступают с весоизмерительной платформы или с тензодатчиков самого миксера в конвертерных цехах на сервер обработки данных, которая осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения и на их основе вычисляется точный вес жидкого чугуна. Эти данные поступают в базу данных для хранения и дальнейшего накопления опыта для экспертной системы, являющейся частью специализированного программного обеспечения (рис. 5).

Для проверки эффективности информационной системы определения веса чугуна проведен эксперимент, в ходе которого были получены и обработаны данные о 120 взвешиваниях и

перевозках жидкого чугуна в миксерах ПМ350 на Алчевском металлургическом комбинате, результаты которого приведены в таблице.

Анализ результатов функционирования разработанной информационной системы свидетельствует об уменьшении максимальной погрешности при определении веса чугуна. По данным 120 экспериментов она не превысила 7% (см. таблицу).

Выводы

В работе предложена и описана верхнеуровневая модель архитектуры информационной системы определения веса жидкого чугуна. Проектируемая система базируется на использовании

Результаты определения веса жидкого чугуна с помощью предлагаемой информационной системы

№	Первичные данные с тензодатчиков о весе чугуна и миксера, подаваемые на вход нейронной сети						Вычисленное нейронной сетью	Значение веса по методу наименьших квадратов	Полученный вес чугуна в конвертерном цеху	Погрешность, % по методу наименьших квадратов	Погрешность, % при нейросетевом подходе
	Начальный вес	Вес миксера с чугуном	Интенсивность заливки	Время начала заливки	Время окончания заливки	Марка чугуна					
1	263,09	544,18	0,6	23:00	23:30	Л1	290,6	288,1	294,9	2,3	1,5
2	302,1	580,2	0,6	00:45	1:19	Л2	299,1	291	320,8	9,3	6,7
3	290,29	560,44	0,6	2:30	3:00	Л3	301,9	295,5	310,9	5	2,8
4	289,3	545,68	0,5	4:52	5:25	Л3	305,5	299,2	307,7	2,8	0,7
5	288,1	575,7	0,5	8:00	8:32	Л3	312,5	305,5	315,7	3,2	1,0
...
45	288,1	565,1	0,5	10:12	10:45	Л5	295,5	285,5	300,1	4,9	1,5
46	285,5	563,4	0,5	12:23	13:01	Л5	322,5	317,5	325,1	2,3	0,8
47	284,1	578,1	0,5	14:45	15:18	Л5	286,5	282,4	290,7	2,9	1,4 %
...
118	240,16	555,18	0,5	14:29	14:55	ПЛ1	302,5	290,5	300,7	3,4	0,6
119	230,96	545,38	0,6	15:25	15:58	ПЛ1	320,1	300,5	327,9	8,4	2,4
120	243,22	538,02	0,6	16:56	16:25	ПЛ2	313,5	305,5	321,35	5,0	2,5
Минимальная погрешность									2,3 3		0,6
Максимальная погрешность									10,5 5 (взвешивание №77)		6,7

нейронных сетей и теории прецедентов для оценки веса чугуна, что позволяет за счет свойства обучаемости адаптировать предложенные средства металлографического анализа для любого предприятия. Разработано программное обеспечение для автоматизированного определения веса чугуна. Примененные разработанных средств позволили уменьшить максимальную погрешность при определении веса чугуна до 7%.

ЛИТЕРАТУРА

- Gordon Y., Kumar, S.; Freislich M., Yaroshenko Y. The modern technology of iron and steel production and possible ways of their development // *Steel in Translation*. – 2015. – № 45:9. – P. 627–634.
- Гусев Ю.В., Гусев Д.Ю. Математическая модель процесса транспортирования чугуна в конвертерный цех // *Вестник Приазовского гос. техн. ун-та*. – Мариуполь, 2008. – №18. – С. 230–232.
- Паэрэнд Ю.Э., Замогильная Н.Ю. Объектно-ориентированное проектирование информационной системы перевозки жидкого чугуна – Тр. 11-й Международ. науч.-практ. конфер. «Современные информационные и электронные технологии – 2010», Одесса, 2010, с. 77–78.
- Авт.св. 840129 (СССР) МПК С21С 1/06, Способ контроля количества чугуна в миксере / В.С. Богушевский, Е.И. Беляев, Н.А. Сорокин, С.К. Соболев, А.В.Сколобанов. – Заявл. 07.08.79. Оpubл. 23.06.1981 // *Бюлл.* №23. – С.3.
- Авт.св. 1271883 (СССР) МПК С21С 1/06, Способ контроля количества чугуна в миксере и износа футеровки / В.А. Ясинский, С.К. Соболев, Э.Ф. Яковлев, К.В. Гуца, Л.И. Сорокин, А.Г. Гемолдинов, Л.Ф. Литвинов, А.А. Сенаторов. – Заявл. 04.03.85. Оpubл. 23.11.1986 // *Бюлл.* №43. – С.3.
- Емельянова Н.Ю. Нейросетевой метод определения массы жидкого чугуна / Н.Ю. Емельянова // *Науч. труды*. – Сер.: Компьютерные технологии. – 2011. – №161(173). – Николаев. – С. 84–88. ■



В рамках реализации Национального проекта «Производительность труда» (далее – Национальный проект) стоит цель сделать экономику России конкурентоспособной в мире путем повышения эффективности работы на всех уровнях, от отдельного специалиста до генерального директора, от малой фирмы до корпорации, от отдельной организации до отрасли промышленности.

В Национальном проекте реализуются федеральные проекты «Адресная поддержка производительности труда

на предприятиях» и «Системные меры по повышению производительности труда».

Федеральный проект Агентства стратегических инициатив (АСИ) направлен на решение ключевых задач Национальной технологической инициативы, в рамках которой планируется создание сети проектных офисов «Точка кипения».

АСИ появилось в России в 2011 г. и стало далеко не первой структурой, в названии которой декларируется отношение к инициативам, стратегии, инновациям и новым технологиям. Идея создания специального агентства для

поддержки проектов предпринимателей в образовании и социальной сфере принадлежала непосредственно Владимиру Путину, возглавлявшему тогда Правительство РФ. Об учреждении АСИ глава кабинета министров объявил 6 мая 2011 г., выступая на межрегиональной конференции «Единой России» в Волгограде: «России нужны новые, стратегические, прорывные инициативы». 11 августа было подписано распоряжение о создании АСИ в форме автономной некоммерческой организации. По замыслу, оно должно было отбирать и продвигать перспективные предложе-

ПРОЕКТНЫЙ ОФИС «ТОЧКА КИПЕНИЯ ДЛЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ». ОПЫТ РАБОТЫ

Д.В. Вавилов, гл. инженер АО «ЦНИИ «Курс», лидер «Точки кипения Hi Tech АО «ЦНИИ «Курс»»,
В.В. Дударенко, ген. директор ООО «Судпромкомплект»,
 контакт. тел. (495) 617 3948



Принципы работы рационализаторов

ния малого и среднего бизнеса, помогать предпринимателям привлекать финансирование и преодолевать административные барьеры, помогать в развитии новых форм образования и развивать негосударственный сектор в социальной сфере. Он сам возглавил Наблюдательный совет, а в Экспертный совет вошли как известные менеджеры, так и руководители небольших предприятий.

АСИ создавалось практически одновременно с инновационным центром «Сколково», и говорили, что даже в про-

тивовес ему. На одной из пресс-конференций эту тему пришлось затронуть даже Владимиру Путину: «Не нужно искать никакого политического подтекста, никто никому ни на какие части тела не наступает и наступать не собирается», – сказал Владимир Путин, отвечая на реплику журналистов о том, что проект агентства по стратегическим инициативам, по сути, наступает «на пятки» проекту «Сколково». «Я считаю, что «Сколково» – хороший проект, своевременный, правильный. Он преследует це-

люсь собрать на хорошо оборудованной площадке, условно говоря, интересных людей и важные проекты. Здесь (агентство) речь идет несколько о другой, о сетевой работе по всей стране, – отметил Владимир Путин. – Одно будет гармонично дополнять другое. Вот и все». Миссия АСИ – «создание возможностей для самореализации молодых амбициозных лидеров, способных вывести Россию на передовые позиции в мире, построить страну, в которой хочется жить и работать» [1].

Сеть проектных офисов «Точка кипения» – это пространства, предназначенные для ученых, бизнесменов и технологических предпринимателей, госслужащих, членов общественных организаций и профессиональных сообществ и студентов. На этих площадках они могут делиться опытом, результатами деятельности, совместно прорабатывать новые модели развития, получать экспертную оценку своих проектов и инициатив.

«Точки кипения» – это больше сотни площадок от Калининграда до Камчатки в вузах, на производствах и в открытых городских пространствах, которые бесшовно работают с бизнес-партнерами, научными организациями и региональными институтами развития, помогают местным командам запускать и масштабировать проекты, поддерживают профессиональные сообщества, способствуют образованию и карьерному росту участников [2].

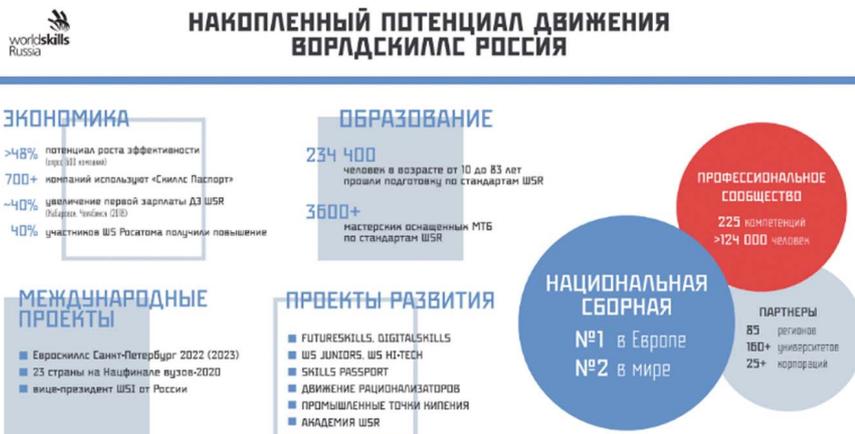
Первые «Точки кипения» имели региональную направленность и становились центром притяжения местных элит и местом реализации регионального образа будущего. Для региона «Точка кипения» – входной билет в главную экосистему по перестроению экономики страны в цифровую.

Первое пространство коллективной работы открылось в 2013 г. в Москве для нескольких десятков проектных команд и лидеров Форсайт-флота. Там рождались движения WorldSkills Россия и дуальное образование, сложились первые группы Национальной технологической инициативы и форсайт-движения, проводились открытые отборы АСИ, стартовали визионерские лекции о будущем, дни Ассоциации предпринимателей индустрии детских товаров, складывалось кружковое движение НТИ, появился первый Атлас новых профессий.

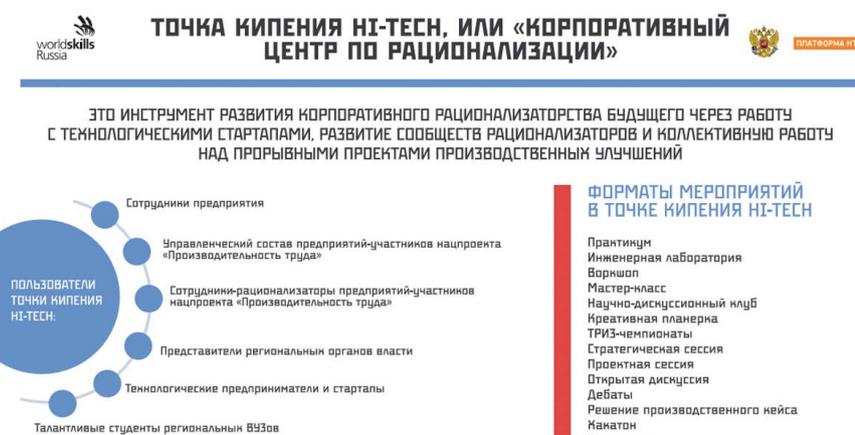
В 2016 г. возникла первая региональная площадка в Санкт-Петербурге, затем и в других городах.

Следующим шагом стало создание «Точек кипения» в университетах. Всего было создано более 50 региональных площадок и более 80 университетских.

В 2021 г. началось создание «Точек кипения» на предприятиях промыш-



Направления работы ВОРЛДСКИЛЛС



Принципы работы «Точки кипения Hi Tech»



На открытии «Точки кипения Hi Tech АО «ЦНИИ «Курс». На снимке: П.О. Бикбулатова и директор департамента по развитию точек кипения Hi Tech Д.В. Вавилов

ленности под брендом «Точка кипения Hi Tech». Главная цель проекта – направить личную инициативу сотрудников на повышение производительности труда и качества рационализаторских предложений, аккумулировать самых талантливых рационализаторов в единое сообщество для обмена практиками. Движение рационализаторов позволяет готовить современных рационализаторов, обучать нестандартным видам деятельности, кардинально менять процессы, внедрять новые решения, выходить на рынок с новым продуктом.

Ключевым является рационализатор – человек, который владеет профессией, глубоко понимает все вопросы по своему направлению, а также имеет энергию, желание и возможности для увеличения эффективности своей деятельности и коллег, которая достигается путем реализации многих больших и малых улучшений различных сторон этой деятельности.

Агентство развития профессионального мастерства (Ворлдскиллс Россия) совместно с АСИ и Платформой НТИ проводят обучение и помогают организовать сообщества рационализаторов – «Точки кипения Hi-Tech», которые представляют собой:

- площадки для запуска движения рационализаторов на предприятии (место встреч, обучения, чемпионатов и конкурсов);
- место для обмена опытом и лучшими практиками как внутри компании, так и за ее пределами, а также вовлечения экспертов и новых кадров на предприятие;
- возможность выстроить кросс-отраслевое и кросс-региональное партнерство с участниками сети Worldskills (как организациями, так и отдельными экспертами), центрами компетенций НТИ, компаниями НТИ;
- безопасное место для апробации и эксперимента перед внедрением передовых производственных технологий и повышения производительности труда;
- место подключения к возможностям Worldskills, сети «Точек кипения», сервисам Платформы НТИ, образовательным программам Университета 20.35;
- экспозона лучших практик в области производительности труда и технологических инноваций.

«Точка кипения Hi Tech» в АО «ЦНИИ «Курс» стала одной из первых в России [3]. Сейчас их более десятка. Информационной площадкой для них является информационная платформа Leader-id.ru, где собираются сведения обо всех мероприятиях во всех «Точках кипения», для эффективного проведения которых подготовлены методические материалы [3].

Основные форматы мероприятий согласно «Атласу форматов совместной работы»:

1. Дизайн-сессия по разработке инновационных идей для решения сложных проблем, опираясь на творческий подход и ориентируясь на потребности заказчика.
2. Круглый стол – локальная активная коммуникация, возможно дополняемая публичным наблюдением: непосредственно/ситуативно управляемое обсуждение заранее выбранных вопросов, где каждый участник выполняет функцию

пропонента (высказывает мнение/позицию именно по обсуждаемому вопросу) и равноправен с другими.

3. Заседание рабочей группы – временная или долгосрочная совместная работа конкретного круга экспертов, специалистов и лиц, принимающих решения (ЛПР), представляющих разные организации, но объединенных задачей достижения общей цели/результата.

4. Воркшоп – коллективная работа небольших групп специалистов под руководством фасилитатора над решением практических бизнес-задач.

5. Лекция – устное выступление по определенной теме для большой аудитории. Формат предполагает экспертную позицию лектора по вопросу выступления.

6. Стратегическая сессия – совместная проектная работа представителей заинтересованных сторон с целью анализа и оценки текущей ситуации, выявления проблем, разработки решений и общего видения развития на определенный период времени.

7. Совещание – публичная коммуникация, собрание для согласования позиций участников по выбранному вопросу.

8. Форум – способ организации активной публичной коммуникации по крупному и сложному поводу с изложением мнения в избираемой участником форме.

9. Конференция – собрание представителей каких-либо организаций, групп, государств, а также отдельных лиц, ученых для обсуждения определенной проблемы или вопросов.

10. Семинар/тренинг – локальная коммуникация, организованное управляемое активное действие, обеспечивающее устойчивость выбранных для развития индивидуальных или групповых навыков.

11. Хакатон – марафон разработчиков, во время которого специалисты из разных областей разработки программного обеспечения (программисты, дизайнеры, менеджеры) сообща работают над решением конкретной задачи.

12. Акселерационная программа – практический формат, который:

- а. обеспечивает получение новых знаний и их применение. Включает образовательные элементы и менторинг;
- б. позволяет за короткий промежуток времени вывести команду/проект на «следующий» уровень.

Так как АО «ЦНИИ «Курс» – отраслевой центр импортозамещения в области судового комплектующего оборудования и центр диверсификации производства для АО «Корпорация морского приборостроения» и АО «Концерн «Моринфорсистема-Агат», институт и подал заявку на участие в создании «Точки кипения Hi Tech» с целью:

- создания точки обмена информации



На заседании «Точки кипения» АО «ЦНИИ «Курс»

ей между всеми участниками рынка морской гражданской робототехники и судового комплектующего оборудования в Российской Федерации;

- обмена лучшими практиками разработки и производства морской приборной техники;
- выявления новых востребованных продуктов для рынков судового оборудования и морской гражданской техники.

Основные направления работы этой «Точки кипения»:

1. Освоение и сохранение ресурсов Мирового океана, а именно:

- развитие морского рыболовства и рыбоводства (товарного рыбозаведения);
- поиск и освоение морских минеральных и энергетических ресурсов, в том числе обустройство и обеспечение эксплуатации морских нефтегазопромыслов, морских отгрузочных терминалов, подводных трубопроводов, промыслов твердых и россыпных полезных ископаемых.

2. Морские научные исследования.

3. Обеспечение безопасности морской деятельности.

4. С строительство и эксплуатация гидротехнических объектов.

5. Поисково-спасательное обеспечение морской деятельности.

6. Защита и сохранение морской среды.

7. Мониторинг и ликвидация последствий техногенных экологических происшествий на море.

Так, 22 апреля в «Точке кипения Hi-Tech ЦНИИ «Курс» прошла стратегическая онлайн-сессия «Вопросы развития морской гражданской робототехники». В ходе обсуждения этих вопросов были обозначены следующие цели:

- повышение эффективности и качества всех направлений морской деятельности путем скорейшего внедрения робототехники и автоматизации;
- усиление взаимодействия сектора научных исследований и разработок в области морской робототехники с реальным сектором экономики;
- обеспечение замкнутости инновационного цикла на проектной основе;
- производство необходимых видов морской робототехники при сокращении финансовых вложений и сроков;
- реализация импортозамещения в этой области в полном объеме и выход на мировой рынок с собственной продукцией.

В сессии приняли участие представители предприятий-разработчиков морской робототехники, предприятия-эксплуатанты этой техники, разработчики комплектующего оборудования морских роботов. Были сформулированы проблемы с поставкой комплектующего оборудования для находящихся в эксплуатации морских роботов зарубежного производства, с отсутствием на рынке российских морских роботов рабочего класса. Кроме того, было рекомендовано регулярно проводить подобные мероприятия для обсуждения проблем:

- продвижения существующих российских проектов морских роботов гражданского назначения;
- обслуживания и производства комплектующего оборудования для находящихся в эксплуатации морских роботов зарубежного производства;
- создания гидроакустического оборудования для морских роботов гражданского назначения;
- проектирования и совершенствования тренажерных комплексов подготовки операторов морских роботов гражданского назначения.

В 2022 г. запланировано проведение аналогичных мероприятий по направлениям: судовое комплектующее оборудование; морская гражданская робототехника; создание инновационных продуктов. В них примут участие представители АО «Корпорация морского приборостроения», АО «Концерн «Моринсис-Агат», Московского физико-технического института (Национального исследовательского университета), Академии электротехнических наук, НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, Ассоциации «Моринформсистема», Совета молодых специалистов АО «ЦНИИ «Курс», Технического комитета».

Использовать «Точку кипения АО «ЦНИИ «Курс» как одну из самых перспективных площадок для того, чтобы консолидировать науку, образование, бизнес и государство предполагает и ООО «Судпромкомплект», которое благодаря широкому технологическому и техническому перевооружению за последнее десятилетие стало полноценным современным предприятием. Сегодня оно обладает возможностями не только для организации комплектования строящихся кораблей и судов необходимым оборудованием, в том числе редкими и уникальными изделиями, но и для производства сложных и высоко-



Монтаж высокотехнологического оборудования в ООО «Судпромкомплект»

качественных изделий для судостроения и ВМФ РФ.

Кроме производственной базы этому способствует собственный конструкторско-технологический отдел, укомплектованный специалистами высокого уровня, имеющими богатый опыт, способными решать сложнейшие технические задачи самого широкого профиля, используя самые современные программно-аппаратные технологии.

Обсуждение на площадке «Точка кипения» проектов, связанных с созданием энергетических установок на нетрадиционных принципах, разработкой, изготовлением и испытанием контрольно-измерительных приборов для подводных добычных комплексов и других, по мнению ООО «Судпромкомплект», будет способствовать их успешной реализации.

Круг вопросов, затрагиваемых проектным офисом «Точка кипения для морской деятельности», постоянно расширяется. И, по мнению авторов, уже сейчас выходит за рамки интересов отдельного предприятия. В связи с этим предлагается рассмотреть вопрос о переносе проектного офиса на более широкую, многопрофильную площадку. Таковую как, например, НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://lenta.ru/articles/2020/10/01/asi/>
2. Информационная система для Точек кипения». – <https://leader-id.ru/>
3. «Точка кипения Hi Tech АО «ЦНИИ Курс». – <https://leader-id.ru/places/6864>
4. Атлас форматов совместной работы. Для сети «Точек кипения» в регионах России. «Точка кипения Томск», 2021. ■

В годы Великой Отечественной войны в составе Военно-морской академии (ВМА), находившейся в эвакуации, имелись факультеты: военного кораблестроения, артиллерийский, минно-торпедный, гидрографический, связи, химических, а также кафедра тактических свойств боевых средств (оружия). Прагматизм создания кафедры тактических свойств боевых средств в составе ВМА станет очевидным, если проанализировать доклады начальников инженерных факультетов, которые в 1945 г. составят основу академии. Важность и необходимость данной структуры была вызвана тем, что подготовка специалистов высочайшей квалификации предусматривала не только получение глубоких знаний, развитие широкого кругозора, но и самое главное – четкое понимание области практического применения военно-морской техники и вооружения, исходя из их боевых свойств.

Профессорско-преподавательский состав кафедры обладал огромным профессионализмом и научным потенциалом, благодаря чему вел занятия на всех инженерных факультетах академии. Помимо этого, выполнял серьезную и обширную научную, научно-исследовательскую работу в интересах военно-морского флота и военного судостроения.

Основными направлениями научной, научно-исследовательской и научно-практической деятельности в эвакуации, в годы Великой Отечественной войны являлось:

- выполнение задач главных управлений НК ВМФ; взаимодействие с научными организациями РККА и ВМФ;
- взаимодействие с флотами;
- сотрудничество с предприятиями;
- научная и научно-исследовательская работа;
- изучение техники и вооружения германского флота; изучение техники и вооружения союзников;
- занятия в системе повышения квалификации офицерских кадров;
- выработка рекомендаций по использованию отечественной военно-морской техники и вооружения.

Остановимся подробнее на содержании этих направлений.

ВЫПОЛНЕНИЕ ЗАДАЧ ГЛАВНЫХ УПРАВЛЕНИЙ НК ВМФ

В январе–феврале 1943 г. пересмотрены таблицы для определения начальной скорости стрельбы 180-мм снарядами на эффективность артиллерийского огня [1].

25 апреля 1943 г. составлены таблицы вероятностей попаданий при торпедометании с самолетов.

С 19 июня по 30 августа 1943 г. командировка профессора кафедры Тактических свойств оружия вице-адмирала, доктора военно-морских наук, профессора Л.Г. Гончарова по плану НК ВМФ, в ходе которой:

ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАФЕДРЫ ТАКТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОЕВЫХ СРЕДСТВ ВОЕННО-МОРСКОЙ АКАДЕМИИ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ

В.Н. Половинкин, д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, науч. руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
С.В. Федулов, д-р истор. наук, доцент, проф. Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, член-корр. Академии военных наук,
А.Н. Конеев, канд. воен. наук, доцент ВУНЦ ВМФ «ВМА»,
контакт. тел. (812) 347 9604

- выполнил задание заместителя наркомата ВМФ адмирала И.С. Исакова;
- работал в ГМШ ВМФ; Управлении боевой подготовки НК ВМФ; Химическом управлении; Артиллерийском управлении; Минно-торпедном управлении; Главном управлении ВВС; Управлении подводного плавания; Управлении ПВО; Управлении береговой обороны НК ВМФ; Научно-исследовательском институте связи;
- прочитал лекцию на курсах политического состава ВМФ на тему «Минные операции и минная война»;
- выступил с докладом в Специальном конструкторском бюро (СКБ) Наркомата судостроительной промышленности по теме «Оценка классов кораблей на основании опыта войны».



Вице-адмирал Л.Г. Гончаров

25 мая 1943 г. представители кафедры тактических свойств оружия принимали участие в Техническом совете при НТК ВМФ при рассмотрении проекта нового эсминца (пр. 40) [2].

26 января 1944 г. вице-адмиралом Л.Г. Гончаровым был подготовлен отзыв на научную работу, выполненную в Разведывательном управлении ГМШ ВМФ на тему «Основные тенденции в развитии иностранного военного кораблестроения» и был отправлен адресату [3].

12 июня 1944 г. начальником кафедры Торпедной стрельбы совместно с кафедрой Тактических свойств боевых средств были подготовлены и отправлены в Управление боевой подготовки «Соображения по миноносцу проекта 40 и его торпедному

вооружению» [4].

31 августа 1944 г. начальник ГМШ ВМФ вице-адмирал В.А. Алафузов поставил задачу кафедре Тактических свойств боевых средств ВМА исследовать живучесть корабля пр. 68 под артиллерийским огнем орудий калибром 203-мм и 152-мм [5].

25 сентября 1944 г. начальник ВМА контр-адмирал В.А. Петровский направил начальнику НТК инженер-капитану 1 ранга А.Б. Попову доклад Л.Г. Гончарова на тему «Тактико-технические задания на разработку схем приборов управления торпедной стрельбой для миноносцев проекта 40», утвержденный начальником МТУ ВМФ [6].



Контр-адмирал В.А. Петровский

9 сентября 1944 г. представители ВМА вице-адмирал Л.Г. Гончаров, инженер-контр-адмирал А.Г. Папкович, инженер-контр-адмирал А.В. Томашевич, О.В. Володько, В.А. Денисов, В.А. Пустовалов участвовали в техническом совещании НТК ВМФ с повесткой дня «Рассмотрение материалов по проекту испытания отсеков подводных лодок» [7].

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С НАУЧНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ РККА И ВМФ

4 мая 1943 г. профессорско-преподавательский состав кафедры тактических свойств боевых средств оружия принял участие в исследованиях Оптического института Народного комиссариата вооружения (НКВ) по заданию Инженерного комитета РККА по теме «Изучение вспышек выстрелов из орудий и зенитных пулеметов» [8].



**Инженер-контр-адмирал
П. Ф. Паткович**

15 января 1944 г. начальник Научно-исследовательского минно-торпедного института (НИМТИ) ВМФ инженер-капитан 1 ранга М. Н. Курнаков направил заместителю начальника ВМА по научной и учебной работе капитану 1 ранга Г. В. Штейнбергу заключение по техническим выводам слушателя ВМА инженер-майора Г. Е. Валка на подготовленный рецепт изготовления соляных таблеток, применяемых в шведских минах и обратился с просьбой выслать в НИМТИ все имеющиеся по этой разработке материалы [9].



Капитан 1 ранга Г. В. Штейнберг

29 марта 1944 г. из ВМА в адрес НИМТИ были высланы материалы по соображениям Г. Е. Валка по вопросу усовершенствования морских мин для использования в маневренных заграждениях и по ответу на эти соображения поступивших из НИМТИ от 15 января 1944 г., а именно:

- заключение кафедры Тактических свойств боевых средств оружия от 20.03.1944 г.
- справка инженер-майора Г. Е. Валка от 20.03.1944 г.
- справка химической лаборатории ВМА от 09.03.1944 г. [10].

24 августа 1944 г. заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе капитан 1 ранга Г. В. Штейнберг направил начальнику ЦКБ-17 «Материалы по расчету баллистики авиабомб с дополнительной скоростью и без нее», подготовленные инженер-капитаном 1 ранга П. П. Соколовым, инженер-подполковником В. А. Хур-

гиным под общим руководством вице-адмирала, профессора Л. Г. Гончарова [11].

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ФЛОТАМИ

В 1942 г. командующий КБФ адмирал В. Ф. Трибуц пригласил в блокадный Ленинград с Большой земли профессора инженер-контр-адмирала А. В. Томашевича, чтобы специально он прочитал курс лекций по тактике подводных лодок командирам подводных лодок. Почти целую неделю А. В. Томашевич раскрывал методы торпедной стрельбы в условиях боевых действий. Побывав перед приездом в Ленинград на других флотах, он детально разобрал примеры успешных без использования перископа атак (с помощью акустики), совершенных подводниками Северного флота, рассмотрел поучительный опыт использования торпедного оружия в ночных условиях на Черноморском флоте, рассказал о залповой стрельбе веером северян и о способе стрельбы торпедами по площади с временным интервалом. Тогда же командирам подводных лодок КБФ были розданы специальные таблицы выхода лодки в атаку, рассчитанные по новому методу, предложенному профессором А. В. Томашевичем [12].



**Инженер-контр-адмирал
А. В. Томашевич**

10–15 августа 1944 г. представители кафедры Тактических свойств боевых средств ВМА: вице-адмирал, профессор Л. Г. Гончаров, контр-адмирал Н. Б. Павлович, инженер-капитан 1 ранга И. М. Васильев принимали участие в межфлотском совещании, задачей которого было «На основе боевого опыта выявить требования флота по разработке новых и совершенствованию существующих образцов минного и трального оружия и вооружения, особо обратив внимание на вопросы обеспечения боевого траления и вооружения мин» [13].

СОТРУДНИЧЕСТВО С ПРЕДПРИЯТИЯМИ

1 декабря 1943 г. к начальнику ВМА контр-адмиралу В. А. Петровскому обратился заместитель начальника ОКБ при заводе № 340 В. Б. Беспалов со следующей просьбой: «В связи с проработкой проектов стальных мореходных торпедных катеров дальнего действия (СТК ДД) во-

доизмещением 45–50 т прошу сообщить мнение профессора ВМА вице-адмирала Л. Г. Гончарова по следующим вопросам:

- торпедное вооружение СТК ДД;
- артиллерийское вооружение СТК ДД;
- бронирование СТК ДД;
- выбор противолодочных средств СТК ДД.

При наличии в академии расчетных и статистических данных по указанным вопросам, а также материалов по использованию торпедных катеров в Отечественной войне была высказана просьба «не отказать и выслать их в ОКБ». Резолюция начальника ВМА гласила: «Ответ, согласно положению, дать только через НТК ВМФ» [14].

23 августа 1944 г. главный инженер завода № 709 НКСП СССР В. Н. Наумов обратился к профессору кафедры Тактических свойств боевых средств вице-адмиралу Л. Г. Гончарову с вопросом: «В целях определения хотя бы ориентировочной эффективности применения приборов для безпузырной торпедной стрельбы (БТС) на подводных лодках ВМФ в период Отечественной войны убедительно прошу Вас сообщить вероятный процент снижения гибели подводных лодок вследствие ликвидации, благодаря применению приборов БТС «пузыря» при выстреле и выскакивания подводной лодки малого тоннажа при залпе, что позволяет противнику определить довольно точно координаты нахождения подводной лодки и, следовательно, район бомбежки подводной лодки. Вполне отдавая себе отчет в невозможности точного определения запрашиваемой цифры вследствие отсутствия исчерпывающих данных прошу Вас сообщить мне хотя бы вероятно ожидаемые проценты снижения гибели подводных лодок ВМФ вследствие применения приборов БТС» [15]. 16 сентября 1944 г. Л. Г. Гончаров через начальника ВМА направил главному инженеру завода № 709 НКСП СССР Наумову отзыв о полезности прибора БТС [16].

НАУЧНАЯ И НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ РАБОТА

20 апреля 1943 г. издан научный труд вице-адмирала, профессора С. П. Ставицкого «Боевое использование корабельной артиллерии» [17].

3 августа 1943 г. выполнена научно-исследовательская работа (НИР) по теме «Тенденции развития военного кораблестроения по линкору, авианосцу, крейсеру, миноносцу и речным кораблям (монитору, бронекатеру, тральщику)» [18].

10 сентября 1943 г. выполнена НИР «Неконтактные мины» [19].

В ноябре 1943 г. кафедрой тактических боевых средств оружия выполнена НИР по теме «Тенденции развития военного корабля» [20].

17 марта 1944 г. заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе

капитан 1 ранга Г. В. Штейнберг направил начальнику Управления кораблестроения НК ВМФ инженер-вице-адмиралу Н. В. Исаченкову отчет по научно-исследовательской работе «Определение количества артиллерийского боезапаса, необходимого для вывода из строя кораблей различных классов», подготовленный кафедрой Тактических свойств боевых средств [21].

20 июня 1943 г. решением Научно-исследовательского института (НИИ) № 20 вице-адмирал Л. Г. Гончаров выдвинут на соискание Сталинской премии за работу на тему «Дистанционное управление торпедной стрельбой на подводной лодке» – шифр: «Топаз-Л» [22].

В феврале 1944 г. произошла защита диссертационной работы капитана 2 ранга В. В. Хомича на кафедре на соискание ученой степени кандидата военно-морских наук [23].

23 июня 1944 г. профессорско-преподавательским составом кафедры Тактических свойств боевых средств выполнена научно-исследовательская работа на тему «Типовые нормы минных заграждений» [24].

5 августа 1944 г. по заданию заместителя наркома ВМФ И. С. Исакова на кафедре Тактических свойств боевых средств была организована научно-исследовательская работа «Тактическая целесообразность использования торпед, управляемых человеком». Исполнителями были назначены инженер-вице-адмирал Л. Г. Гончаров, инженер-капитан 1 ранга А. П. Щеглов, инженер-капитан 1 ранга Н. М. Лундышев, инженер-капитан 1 ранга Е. Е. Шведе [25].

7 сентября 1944 г. заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе обратился к начальнику Организационно-строевого управления НК ВМФ с просьбой: «Для использования в учебной и научно-исследовательской работе прошу выслать краткие сведения по минным заградителям, сетевым заградителям и тральщикам, находящихся в настоящее время в составе ВМФ» [26].

11 октября 1944 г. начальник ВМА вице-адмирал П. С. Абанькин направил начальнику ГМШ вице-адмиралу В. А. Алафузову научную работу инженер-капитана 1 ранга Б. А. Денисова на тему «Продолжительность боевой службы мин», которая являлась частью еще выполняемой научно-исследовательской работы на тему: «Нормы для расчета минных заградителей» [27].

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИКИ И ОРУЖИЯ ГЕРМАНСКОГО ФЛОТА

13 марта 1943 г. определены и подготовлены к рассылке тактико-технические данные взрывателей неконтактных немецких электроторпед, разоруженных на Черноморском флоте [28].

Июнь – сентябрь 1943 г. Проведены теоретические исследования целесообразности тактического использования немецкой радиоуправляемой торпеды [29].

3 мая 1944 г. Заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе капитан 1 ранга Г. В. Штейнберг обратился к начальнику МТУ НК ВМФ контр-адмиралу Н. И. Шибаеву с просьбой выслать в адрес ВМА информацию «О циркулирующей германской торпед» [30]. 16 июня 1944 г. начальник 2 отдела МТУ НК ВМФ капитан 1 ранга Б. Д. Костыгов направил начальнику ВМА информационное сообщение следующего содержания: «По данным английского Адмиралтейства германская авиация применяет циркулирующие торпеды, сбрасываемые с парашютом.

Особенности этих торпед следующие: самовзрывающиеся устройства и клапана затопления отсутствуют, вследствие чего торпеда, не попавшая в цель после потери скорости, остается на плаву. В таком положении торпеда по характеру действия представляет собой дрейфующую контактную мину с чувствительным взрывателем» [31].

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИКИ И ОРУЖИЯ СОЮЗНИКОВ

22 мая 1944 г. заместитель начальника ВМА по научной и учебной работе Г. В. Штейнберг обратился к начальнику Управления кораблестроения НК ВМФ инженер-вице-адмиралу Н. В. Исаченкову с просьбой дать разрешение сообщить в академию содержание отчетов № 23 и № 26 лаборатории английского Адмиралтейства о работах с «ударной машиной» [32].

11 сентября 1944 г. начальник ВМА обратился к заместителю наркома ВМФ И. С. Исакову с просьбой выслать для ознакомления специалистами Академии секретных американских фильмов по оружию и технике ВМС США, обнаруженные на крейсере «Мурманск» (американский, переданный на время в ВМФ СССР в счет репараций итальянского флота) [33].

ЗАНЯТИЯ В СИСТЕМЕ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ОФИЦЕРСКИХ КАДРОВ

11 апреля 1943 г. проведено практическое занятие под руководством вице-адмирала профессора Л. Г. Гончарова со слушателями Академических курсов усовершенствования начальствующего состава химической службы ВМФ по теме «Вероятность поражения движущегося корабля различными средствами химического оружия» [34].

ВЫРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЕННО-МОРСКОЙ ТЕХНИКИ И ОРУЖИЯ

2 сентября 1943 г. подготовлены сообщения по усовершенствованию морских

мин для возможности их использования в маневренных заграждениях [35].

Таким образом, важность и необходимость включения в состав формирующейся ВМА кораблестроения и вооружения имени А. Н. Крылова кафедры Тактических свойств боевых средств была обусловлена рядом существенных факторов: во-первых, необходимо привить слушателям четкое понимание области практического применения военно-морской техники и вооружения, исходя из их боевых свойств. Во-вторых, кафедра имела профессорско-преподавательский состав высочайшей квалификации, о чем свидетельствуют и защита диссертаций, и выдвижение профессора Л. Г. Гончарова на соискание Сталинской премии. В-третьих, содержание вышеперечисленных направлений научной деятельности свидетельствует о многогранности научной деятельности кафедры.

Вместе с тем необходимо отметить, что кафедра Тактических свойств боевых средств в составе ВМА в годы Великой Отечественной войны осуществила три передислокации (Ленинград – Астрахань, Астрахань – Самарканд, Самарканд – Ленинград) и могла функционировать только с 1943–1944 г., при этом была оторвана от академической научной, учебно-материальной и лабораторной баз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиал ЦА МО РФ (архив ВМФ, г. Гатчина) Ф. 879. Оп. 3946. Д. 1. Л. 2.
2. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 79.
3. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 7–11.
4. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 45–48.
5. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 81.
6. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 93–101.
7. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 120–121.
8. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 22.
9. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 4–5.
10. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 25.
11. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 59–74.
12. Грищенко П. Д. Схватка под водой. – М.: Молодая гвардия, 1983. – С. 92–93.
13. Филиал ЦА МО РФ (архив ВМФ, г. Гатчина) Ф. 879. Оп. 3947. Д. 2. Л. 77.
14. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 19.
15. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 54.
16. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 126.
17. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 28.
18. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 35.
19. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 37.
20. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 108–114.
21. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 50.
22. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 94.
23. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 2.
24. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 53.
25. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 88.
26. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 83.
27. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 130.
28. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 95.
29. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 102.
30. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 39.
31. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 52.
32. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 44.
33. Там же. Оп. 3947. Д. 2. Л. 86.
34. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 21.
35. Там же. Оп. 3946. Д. 1. Л. 106. ■



ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ РОССИЙСКОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА СУДОСТРОИТЕЛЕЙ В 2017–2022 ГОДАХ И ЗАДАЧИ ЕГО РАЗВИТИЯ*

В.С. Никитин, д-р техн. наук, проф., президент
РосНТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011

Работа НТО за прошедшие пять лет после конференции 2017 г. велась в непростое для нашей страны время. Осложнение международной обстановки потребовало мобилизовать российское судостроение для обеспечения военной и экономической безопасности государства.

Коллективными членами НТО являются большинство ведущих судостроительных заводов и отраслевых проектных организации России. Сегодня, когда качественно обновлена Стратегия развития судостроительной промышленности, особенно очевидно, как важна для ее реализации наука. Основные задачи НТО – всемерное содействие научно-техническому развитию отечественной судостроительной промышленности, распространение научных и технических знаний, а также установление связей между учеными и специалистами предприятий и координация их работ.

В соответствии с этими целями НТО взаимодействует с Морским советом Санкт-Петербурга, Ассоциацией судостроителей города и Ленинградской области, Российским и Санкт-Петербургским союзами промышленников и предпринимателей, Морским Собранием Санкт-Петербурга, Научно-экспертным советом Морской коллегии при Правительстве РФ, Комитетом по кораблестроению при НТС ВПК, Экспертным советом ВАК по кораблестроению, Президиумом НТС Российского морского регистра судоходства.

Для расширения практического внедрения научных достижений членам НТО судостроителей поставлены задачи:

- особое внимание уделить дальнейшему совершенствованию формирования ежегодных тематических планов работы в соответствии с современными требованиями к развитию науки судостроительной отрасли;

* Из доклада В.С. Никитина, президента НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, на VI отчетно-выборной конференции.

- актуализировать планы работ научно-технических секций с учетом приоритетных научно-технических задач развития отрасли в сложившейся экономической и политической обстановке, в том числе с учетом СВО;
- актуализировать состав и тематику работ секций;
- закрепить за вице-президентами, руководителями комитетов, членами Президиума научно-техническое и методическое руководство конкретными тематическими секциями НТО судостроителей;
- усилить координацию работ с региональными отделениями;
- укрепить взаимодействие с исполнительными органами власти и предприятиями судостроения регионов.

Поиск и внедрение передовых научных идей и прогрессивных конструкторских разработок, внедрение современных технологий в отечественную практику можно обеспечить только в ходе комплексной инновационной деятельности. Сегодня именно в этом направлении работает Инновационный (экспертный) комитет НТО под руководством доктора технических наук, профессора В.Н. Половинкина, научного руководителя КГНЦ.

В центре внимания членов НТО – основные тренды в отечественном судостроении: энергоэффективность и экологичность, применение инновационных материалов и аддитивных технологий, создание морских робототехнических комплексов, интеллектуальных и безэкипажных систем управления объектами морской техники, разработка систем автоматизированного управления кораблями на протяжении их жизненного цикла. Необходимо активизировать продвижение инновационных проектов и программ, а также критических и базовых технологий, обеспечивающих развитие отечественного судостроения.

Большое внимание НТО уделяет развитию ряда новых перспективных направлений деятельности, значимых для укрепления обороноспособности страны и военно-технического сотрудничества. Работа НТО судостроителей постоянно сочетается с решением новых сложных задач, которые возникают перед россий-

ским судостроением, в первую очередь при решении вопросов импортозамещения и обеспечения технологического суверенитета. Первостепенное значение приобретает расширение внедрения новых российских технологий в производство при замещении иностранной продукции.

Особая роль при этом должна быть отведена наряду с отраслевыми научными центрами также научным общественным организациям, в первую очередь НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, которое располагает определенным опытом и знаниями.

Комитетом по инновациям разработаны требования к оформлению инновационных проектов, а также показатели и критерии их оценки. За отчетный период в НТО рассмотрен ряд таких проектов, часть которых рекомендовано направить на предприятия ОСК и КМП для рассмотрения на НТС и инвестирования для внедрения в производство.

Важнейшим результатом многолетней деятельности НТО можно считать сформированные и действующие на базе 31 специализированной тематической научно-технической секции и 5 подсекций группы высокопрофессиональных экспертов для оценки и продвижения в практику инновационных проектов. Специализация секций НТО охватывает практически все важнейшие научно-технические направления судостроения, управления производством и подготовки специалистов. Потенциал экспертных групп можно эффективно использовать для независимой оценки выполняемых предприятиями НИОКР и разрабатываемой проектной документации. Для этого необходимо решить вопросы государственной аттестации экспертов и разработать механизм заключения договоров между экспертными группами и предприятиями.

Стратегическая роль и основная задача работы секций состоит в объединении ученых и инженеров отрасли в интересах инновационного развития судостроения на основе многостороннего информационного обмена научными знаниями. Не менее важной задачей является проведение секциями системного анализа текущего состояния и прогнозирование приоритетных направлений

и перспектив развития отечественного судостроения.

На заседаниях секций НТО обсуждаются достижения отечественной науки и техники, ведутся мониторинг требуемых и координация выполняемых научных и проектных работ в отрасли, анализ их результатов, происходит обмен опытом.

Для реализации поставленных целей секции привлекают ведущих российских ученых, а также взаимодействуют с государственными научными центрами, научными институтами, университетами, общественными и другими организациями. Работу секций возглавляют авторитетные ученые и специалисты, которые нацелены на активное сотрудничество с судостроительными корпорациями в части продвижения инновационных программ и разработок. Члены секций работают в координации с профильными отделами предприятий ОСК и КМП.

Особо следует отметить сотрудничество НТО судостроителей с высшими учебными заведениями, где создана уникальная научно-производственная база с самым современным исследовательским оборудованием. Научно-техническим секциям предложено нацелить свою работу на повышение престижа инженерных специальностей и улучшение подготовки и переподготовки специалистов для всех сфер судостроения.

Секция «Мореходные качества судов» (руководитель – кандидат технических наук А. А. Добродеев) проводит перспективные исследования в целях достижения наивысшей эффективности и безопасности мореплавания в сложных ледовых условиях, обеспечения ледовой прочности и надежности корпусов транспортных судов при круглогодичной навигации.

Члены *секции «Электроэнергетические системы»* (руководитель – член-корреспондент РАН, доктор технических наук Л. И. Чубраева) рассматривают широкий спектр проблем, связанных с принципиально новой разработкой и созданием электроэнергетического оборудования для современных судов. На заседаниях секции обсуждаются проблемы систем электродвижения, в том числе с использованием высокотемпературной сверхпроводимости.

Ряд секций активно работают и на предприятиях, входящих в состав АО «Корпорация морского приборостроения». При активном участии и под научным руководством ведущего мирового ученого в разработке средств морской навигации, академика РАН В. Г. Пешехонова, работает секция «Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология» (руководитель – доктор технических наук П. И. Малеев).

Секцию «Управление судами и кораблями» возглавляет доктор технических наук, профессор К. Ю. Шилов. Секция

провела конференцию на тему «Робототехнические системы на основе АНПА легкого класса», выездное (в концерне «НПО «Аврора») заседание Президиума Центрального правления НТО судостроителей, посвященное 90-летию со дня рождения В. В. Войтецкого.

В области морского приборостроения на базе «ЦНИИ «Курс» активно работает секция «Общесистемные вопросы развития радиоэлектронного оборудования судов и радиоэлектронного вооружения» по вопросам создания интегрированных систем управления и комплексной автоматизации кораблей и судов. Свои работы по широкому спектру направлений исследований на ее рассмотрение представили «НПО «Аврора», «ЦНИИ «Электрорприбор», «Моринформсистема-Агат», «Океанприбор» и сотрудники еще более 30 предприятий.

Разработка АИС управления ресурсами на всех этапах создания и эксплуатации кораблей – одно из главных направлений работы *секции «Управление судостроительным производством»* (руководитель – доктор технических наук, профессор А. Е. Богданов). Творческий коллектив секции активно формирует и реализует техническую политику по совершенствованию систем управления судостроительным производством и техническим обслуживанием морской техники. Сформулированные рекомендации направляются в органы управления судостроительной промышленностью и отраслевые научные организации. Членами секции за прошедшие три года опубликованы три монографии:

- «Организационно – управленческие технологии создания и технического обслуживания морской техники»;
- «Индустриальные модели создания и технического обслуживания морской техники»;
- «Анализ узких мест в судостроении». Подготовлены восемь статей в отраслевые научные журналы. На девяти заседаниях секции были рассмотрены вопросы:
 - состояния НТД по обеспечению организации и управления бизнес-процессами полного жизненного цикла морской техники;
 - создание интегрированной информационной системы управления межзаводской кооперацией изделий машиностроения;
 - о возможности применения цифровых двойников на этапах создания и послепродажного обслуживания морской техники и многие другие.

Секция «Управление судостроительным производством» стала значимым отраслевым экспертным центром по разработке информационных технологий и внедрению в управление производством.

Секция «Поисково-спасательная техника и технологии» (руководитель – доктор технических наук, профессор В. Н. Илюхин) активно и плодотворно занимается созданием и развитием аварийно-спасательной и судоподъемной техники и технологий. В рамках международных конференций «Российское судостроение» проведены конференции «Перспективные судовые спасательные средства» и «Морское аварийно-спасательное оборудование для применения в Арктике». На базе 51 ЦКТИС организованы «круглые столы»: «Инновационные разработки поисково-спасательной техники и технологий» и «Создание и развитие системы охраны жизни людей на водных объектах».

Приказом руководителя Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.02.2021 г. № 131 НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова определено базовой организацией Технического комитета по стандартизации ТК 416 «Гипербарическая техника».

На заседаниях *секции «Судовые энергетические установки»* (руководитель – кандидат технических наук А. З. Багерман) проводятся семинары по различным направлениям судовой энергетики. На прошедшем недавно семинаре по теме «Опыт применения металлопорошковых композиций в аддитивных технологиях при ремонте газотурбинных двигателей» было принято решение провести 20–21 апреля 2023 г. на опытном заводе ОДК «Сатурн» в Ярославле выездное заседание секции по актуализации технических требований к газовым турбинам для судостроения.

Создана *секция «Морские робототехнические комплексы»* под научным руководством доктора технических наук, профессора К. В. Рождественского и методическим руководством доктора технических наук И. В. Вильнитца.

Проблемам прочности всегда уделялось особое внимание выдающихся ученых-кораблестроителей, а сама наука считается приоритетной на всех этапах развития кораблестроения. Целям инновационного проектирования конкурентоспособных кораблей и судов с характеристиками, соответствующими или превышающими мировой уровень, служат и проведение при участии НТО ежегодной конференции по строительной механике корабля с публикацией научных докладов ее участников в специальных сборниках.

В 2021 г. конференция, затрагивающая актуальные проблемы конструирования, прочности и эксплуатации судов и морских сооружений, была посвящена 155-летию НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. Организаторами выступили секция «Прочности и конструкции

корпуса судна», ученые и преподаватели СПбГМТУ, ведущие ученые и специалисты Отделения прочности и надежности конструкций КГНЦ. В ней приняли участие представители пяти стран: России, Китая, Республики Корея, Италии, Дании. Статьи участников конференции опубликованы в специальном выпуске Трудов Крыловского государственного научного центра. Конференция показала высокий научный уровень докладов, актуальность тематики, максимальную приближенность решаемых задач к практическим потребностям отрасли.

Особое место в деятельности НТО занимает работа в области истории отечественного судостроения, пропаганда выдающихся достижений ученых и специалистов. Секция «История судостроения» (руководитель – кандидат технических наук, профессор С. П. Столяров) взаимодействует практически со всеми ветеранскими организациями Петербурга, проводит мероприятия в музеях предприятий судостроения, конференции со студентами в СПбГМТУ и школьниками. Ежегодно члены секции издают монографии. Важно, чтобы бесценный опыт ветеранов остался для будущих поколений на страницах книг и воспоминаний.

Перед секцией поставлена задача привлечь научно-техническую общественность для создания музея НТО судостроителей. В его архиве собраны уникальные исторические документы, свидетельства деятельности выдающихся ученых-кораблестроителей, в том числе их рукописи и уникальные книги. Необходимо на базе секции «Истории судостроения» организовать системную работу по изучению и публикации архивных документов.

Центральным правлением и Президиумом НТО проведены выездные заседания в Крыловском государственном научном центре, в ЦНИИ КМ «Прометей», на базе судостроительных заводов Северодвинска и предприятий Петербурга с проведением конференций, круглых столов и семинаров, где обсуждались актуальные проблемы развития судостроения.

Региональная политика является приоритетным направлением деятельности НТО. Комитет по региональной политике, возглавляемый вице-президентом НТО Г. Н. Муру, координирует планы работ региональных отделений и представляет с Тематическим планом Центрального Правления НТО, что позволяет развивать их взаимную кооперацию в исследовательских и организационных направлениях.

В ходе выездных заседаний в регионы страны Президиум НТО проводит работу по усилению взаимодействия с федеральными и региональными исполнительными органами власти, а также с предприятиями судостроительной отрасли. Особо следует отметить работу с Чебоксарским регио-

нальным отделении Общества. Представители НТО судостроителей регулярно посещают и принимают участие в мероприятиях в Чувашии, посвященных флоту и отечественному кораблестроению. Совместно с КГНЦ проведены выездные заседания Президиума НТО в Казани, Зеленодольске, Республике Марий Эл.

Комитет по региональной политике предпринимает меры по организации взаимодействия с судостроительной общественностью Крыма. В Севастополе совместно с СКТБЭ и КГНЦ проведена научно-практическая конференция «Водородная энергетика». Однако в связи с пандемией и военной операцией выполнить в полном объеме планы по расширению территориальной деятельности НТО не удалось.

Сегодня активно развивается судостроение в Волго-Вятском регионе, на Амурском и Хабаровском судостроительных заводах, в южном центре судостроения и судоремонта в Астрахани, на заводе «Море» в Крыму, что требует усиления работы НТО в этих регионах.

В планах работы Комитета по региональной политике:

- вступление в НТО судостроителей ССК «Звезда» компании «Роснефть», определенная работа в этом направлении уже проделана;
- оформление ранее достигнутых в Казани договоренностей о вступлении в НТО судостроителей в качестве коллективных членов Зеленодольского судостроительного завода им. А. М. Горького и Зеленодольского ПКБ.

Взаимодействие НТО судостроителей с администрацией Чувашской Республики в военно-патриотической и исторической сферах длится более 10 лет. В г. Алатырь установлены бюст А. Н. Крылову. Школа-гимназия в этом городе названа в его честь. На родине академика в селе Крылово Порецкого района Чувашии действует мемориальный музей. В речном порту города Чебоксары установлен памятник А. Н. Крылову. На территории Порецкой школы открыт мемориальный комплекс «Флотская слава Поречья».

По инициативе вице-президента НТО судостроителей Г. Н. Муру и при поддержке ВМФ проведены военно-патриотические мероприятия в рамках проекта «Чувашия флотская». Этот проект «НТО им. каэд. А. Н. Крылова – родине Крылова» стартовал в Порецком районе Чувашской Республики на родине А. Н. Крылова в марте 2022 г. при поддержке местных ветеранских организаций и главного командования ВМФ России. Проект направлен на пропаганду лучших традиций отечественного кораблестроения и сотрудничество со школой военных моряков Порецкого района.

В соответствии с приказами Минобороны в сентябре 2022 г. состоялась пере-

дача списанных уникальных экспонатов морского оружия: реактивных бомбометных установок и других образцов противолодочного оружия. Главком ВМФ отметил ответственное отношение к делу и поблагодарил руководство «Адмиралтейских верфей», 51 ЦКТИС, 15 Арсенала ВМФ, ветеранов ВМФ, НТО судостроителей за инициативную помощь в организации доставки экспонатов из Петербурга в Чувашию. Военно-морские экспонаты в настоящее время установлены на патриотической площадке «Флотская слава Поречья».

В области международного сотрудничества вице-президентом НТО, доктором технических наук, профессором К. В. Рождественским проведены международные конференции, «круглые столы», семинары по актуальным проблемам судостроения.

В сентябре 2021 г. в Санкт-Петербурге НТО судостроителей организовало встречу руководителей морских инженерных обществ стран Паназиатской ассоциации.

В 2002 г. проведена 9-я международная конференция морских инженеров Martech 4,0.

Приоритетом для НТО по-прежнему остается работа с молодыми судостроителями. Вице-президент НТО, кандидат технических наук Б. А. Барбанель, руководитель Комитета по молодежной политике, ведет активную работу по формированию и развитию научно-технического потенциала молодых работников предприятий и совершенствованию их профессионального мастерства. Комитет ежегодно проводит конкурсы «Инженер года» и «Надежды России», конференции, привлекает молодежь к участию в работе научно-технических секций НТО, семинаров, «круглых столов», содействует в подготовке их к публикации.

С 2014 г. НТО ежегодно проводит Всероссийский отраслевой научно-технический конкурс «Молодой кораблестроитель–инженер года». Тематика конкурсных работ включает ключевые вопросы инновационных технологий в судостроении. Подведены итоги этого конкурса за 2022 г. Лучшие работы молодых специалистов постоянно публикуются в журналах «Морской вестник», «Судостроение».

Активизирована издательская деятельность НТО. В 2022 г. при поддержке ОСК издана книга «Военно-морские силы стран мира» коллективом авторов под руководством В. Н. Половинкина. НТО развивает такие формы работы, как издание учебников, монографий, книг, посвященных истории судостроения и выдающимся деятелям отрасли. По рекомендации Президиума НТО научные статьи ученых и специалистов публикуются в журналах «Судостроение», «Морской вестник», в Трудах Крыловского государственного научного центра, журналах предприятий «Электроприбор», «Агат», «Курс».

К 155-летию со дня рождения выдающегося российского ученого-корабеля академика А. Н. Крылова выпущены памятные Золотая и Серебряная медали, которыми награждены активные члены НТО.

В годы 325-летия Российского флота и 350-летия со дня рождения Петра I особо прозвучало, что судостроительная отрасль относится к наиболее наукоемким видам техники и постоянно требует качественно новых подходов к созданию морских объектов.

Важным результатом деятельности НТО судостроителей за отчетный период следует считать активизацию взаимодействия с руководством и обществами Группы ОСК. Первым заместителем генерального директора ОСК направлено письмо на предприятия корпорации, в котором отмечено, что мероприятия НТО близки по своим целям задачам ОСК и соответствуют стратегическим направлениям развития отрасли. Рекомендовано обществам Группы ОСК участвовать в организации и проведении этих мероприятий.

Активно включилось в работу НТО судостроителей руководство «Корпорации морского приборостроения». Прорабатывается вопрос создания в рамках НТО судостроителей новых самостоятельных секций, где будут широко обсуждаться передовые научно-технические

идеи и решения по проблематике морского приборостроения.

Особое место в распространении идей о значимости российского судостроения для развития страны и в повышении привлекательности профессий судостроителей, прежде всего в молодежной среде, имеет историко-просветительская деятельность нашего общества. В 2023 г. исполняется 160 лет со дня рождения А. Н. Крылова и 100 лет с создания «ЭПРОНа» – экспедиции подводных работ особого назначения. Подготовлены планы мероприятий, посвященных этим памятным датам. Юбилейные мероприятия, посвященные 160-летию со дня рождения академика А. Н. Крылова, включают:

- проведение «Крыловских чтений»;
- организацию летней научной школы «Гидродинамика высоких скоростей» 26–29 июня в Чувашском государственном университете в г. Чебоксары;
- проведение юбилейного выездного расширенного заседания Центрального правления НТО в Чувашии;
- оформление стендовой выставки у бюста А. Н. Крылова на аллее его имени в Москве в районе Северного речного вокзала;
- выступление с инициативой о присвоении имени академика А. Н. Крылова научно-исследовательскому судну;
- издание книг, монографий, фотоальбома о выдающемся ученом-кораб-

лестроителе, переиздание книги «Мои воспоминания».

В планах НТО – развитие сотрудничества и партнерских отношений с другими отраслевыми научными и общественными организациями, с профильными высшими учебными заведениями для обеспечения связи научно-технической и инновационной деятельности с подготовкой инженерных и научных кадров:

- согласованы конкретные меры с Ассоциацией технических университетов по активизации работы с региональными отделениями НТО судостроителей;
- заключено Соглашение о сотрудничестве в области инновационной деятельности с Архангельским региональным отделением «Союза машиностроителей России»;
- продолжится сотрудничество с Российским и Международным союзом научных и инженерных общественных объединений по проведению конкурсов «Инженер года» и присуждению молодежных премий «Надежда России» в области науки и техники.

Сегодня члены НТО – создатели кораблей используют достижения судостроительной науки в интересах флота. Можно с уверенностью сказать, что в каждом корабле заложены частички интеллектуальных усилий членов НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова. ■



26 января 2023 г. состоялся семинар секции «Судовые энергетические установки» на тему «Перспективные судовые энергетические установки на основе газотурбинной установки полузамкнутой схемы».

С докладом «Высокоэффективные, экологически чистые парогазовые энергетические установки на основе ГТУ полузамкнутой схемы с регулируемой мощностью» выступили кандидат технических наук Г. К. Ведешкин, А. А. Пузич, Ю. Б. Назаренко (ФАО «ЦИАМ им. П. И. Баранова»). Они познакомили с разработкой В. М. Уварова, профессора ВМТУ им. Н. Э. Баумана, – энергетической парогазовой установкой на основе авиапроизводной газотурбинной установки (ГТУ) полузамкнутой схемы. Он

предложил заменить вторичный воздух диффузионной камеры сгорания продуктами сгорания ГТУ. В ЦИАМ эта схема была дополнена агрегатом наддува, состоящим из компрессора низкого давления газогенератора и приводящей его утилизационной турбины, использующей оставшуюся часть расхода продуктов сгорания. Теплоперепад силовой турбины газогенератора становится больше на величину теплоперепада утилизационной турбины агрегата наддува, а котел-утилизатор, находящийся под наддувом компрессора низкого давления, вырабатывает больший температурный напор, поэтому паровая турбина развивает мощность больше, чем базовая ГТУ, а ее КПД заметно возрастает. При этом котел-утилизатор имеет значительно меньшие размеры. Агрегат наддува используется для регулирования мощности парогазовой установки (ПГУ) за счет изменения степени сжатия, при этом базовая ГТУ работает при постоянных при-

веденных параметрах, в том числе при постоянной температуре газа на входе в котел-утилизатор, что исключает тепловую инерцию при регулировании мощности ПГУ. Таким образом, предлагаемая ПГУ с ГТУ полузамкнутой схемы получает уникальные эксплуатационные характеристики: регулируемую в темпе изменения нагрузки мощность; высокий КПД (0,55–0,57%); вдвое меньший объем парникового газа на единицу вырабатываемой мощности; компактность ПГУ, которая состоит из одной ГТУ, одной паровой турбины и котла-утилизатора, имеющего значительно меньшие габариты.

Г. К. Ведешкин, А. А. Пузич, Ю. Б. Назаренко сделали еще один доклад: «Экологически чистые судовые энергоустановки, использующие флотский мазут в качестве горючего». Как известно, мазут имеет ряд недостатков по сравнению с авиационным керосином и дизельным топливом: высокое содержание вредных примесей, таких как сера, вызывающая коррозию в «горя-

СЕМИНАРЫ НТО СУДОСТРОИТЕЛЕЙ ИМ. АКАД. А. Н. КРЫЛОВА

*РосНТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 710 4011*

чей» части ГТД, зола, вызывающая эрозивный износ лопаток, смолистые вещества, загрязняющие поверхности деталей турбин; высокую температуру кипения и большую вязкость, что способствует снижению полноты сгорания и увеличивает содержание в выхлопе вредных продуктов неполного сгорания.

Главным же достоинством мазута, по сравнению с авиационным керосином и дизельным топливом, является его меньшую в два-три раза стоимость, чем керосин.

Радикальным методом полезного применения мазута является его газификация перед подачей в камеру сгорания при низком давлении, менее 0,1 бар и температуре 400° С. Продукты его газификации (водород, предельные и непредельные углеводороды) подают для экологически чистого сжигания в камеру сгорания ГТД. Жидкий гудрон, остающийся после газификации, удаляют из процесса и используют как товарное сырье для производства асфальта

Главный конструктор по перспективным разработкам ПАО «ОДК-Сатурн» (г. Рыбинск) М. Н. Буров выступил с докладом «Выбор рационального облика морской энергетической установки». В докладе были отмечены две основные тенденции развития морских ГТД и энергоустановок на их основе: повышение топливной эффективности и увеличение единичной мощности двигателя и агрегата.

К основным способам повышения эффективности энергоустановок с ГТД следует отнести: повышение аэродинамического совершенства узлов, а также параметров ГТД простого цикла, оптимизация конфигурации энергоустановки (многодвигательный ГТА, ДГТА, ИЕР и др.), применение ГТД сложного цикла (промежуточное охлаждение, рекуперация, теплоутилизационный паровой контур и др.).

Достигнутый на сегодняшний день уровень параметров термодинамического цикла и аэродинамического совершенства узлов ГТД позволяет создавать ГТУ с КПД на номинальном режиме до 40%.

Сохранение основной тенденции для ГТД простого цикла – это повышение параметров цикла и единичной мощности двигателя. Эффективность двигателя сложного цикла в корабельных условиях неоднозначна и зависит от эффективности теплообменных аппаратов и модели эксплуатации корабля.

Облик энергетической установки того или иного объекта (корабль, гражданское морское судно, стационарный объект морской инфраструктуры нефтегазового комплекса) необходимо выбирать с учетом стоящей перед объектом целевой задачи и минимизации стоимости жизненного цикла.

Кандидатом технических наук С. А. Бурцевым (МГТУ им. Н.Э. Баумана) было сделано сообщение на тему «Элект-

рические перспективы корабельных ГТУ».

За время существования судостроения силовые установки прошли длинный путь от весла и паруса до винтов и тепловых двигателей. XX в. начинался с активного внедрения винтов и паровых турбин, затем паровые турбины уступили поршневым двигателям, работающим на винт. А с середины века в качестве силовой установки стали использовать и ГТД, причем во всем мире простые и сложные ГТУ сегодня создают на основе авиационных ГТД.

Однако совместная работа различных типов двигателей на вал винта оказывается очень трудной задачей, приводящей к необходимости создания очень сложных и тяжелых редукторов для работы маршевых и форсажных двигателей.

Современная мировая практика (кроме нашей страны) показала, что использование электротрансмиссии позволяет не только отказаться от редукторов, совмещающих различные тепловые двигатели, но и на режимах неполной мощности значительно повысить экономичность хода, обеспечить возможность привода электродвигателя винта любого борта от любой (форсажной/маршевой или их комбинации) энергоустановки, энергосистемы корабля и т. д.

7 февраля 2023 г. состоялось заседание секции НТО им. акад. А. Н. Крылова «Управление судостроительным производством». В соответствии с тематическим планом работы темой его был «Анализ мероприятий по совершенствованию систем управления судостроительным производством, предусмотренных федеральными целевыми программами на период 2023–2025 гг.». Были заслушаны следующие доклады:

- «*Конструктивно-технологическая платформа как первичный объект управления жизненным циклом морской техники*». Докладчик: руководитель проекта Департамента ЦТи ИТ АО «ОСК» М. В. Вихлянов;
- «*О перспективах организации управления конструкторско-технологической подготовкой производства морской техники (УКТПП МТ) на основании действующей классификации элементов нагрузки масс судовых конструкций*». Докладчик: руководитель проекта А. М. Абдрахманов (фирма «Аскон»).

Необходимость рассмотрения этих тем объясняется составом утвержденной Программы цифровой трансформации АО «ОСК», которая содержит четыре инициативы (проектирование, строительство, сервис, единое информационное пространство), нашедшие отражение в 11 проектах. Ключевой проект нацелен на разработку отечественного программного обеспечения для построения цифровой среды представления судовых конструкций и систем на этапах их жизненного цикла.

Было отмечена важность ускорения разработки в цифровом представлении процессов конструкторско-технологической подготовки производства морской техники, как информационного ядра организации судостроительного комплекса путем формирования отечественной конструктивно-технологической платформы, так и первичного объекта управления жизненным циклом морской техники.

Заслушав и обсудив сообщения о цифровой трансформации на предприятиях объединения, было обращено внимание на необходимость введения унифицированной терминологии в рамках действующей НТД РФ при формировании отечественных программно-аппаратных комплексов проектирования, создания судовых конструкций и систем, а именно:

- Если конструктивно-методологическая и информационно-коммуникационные модели по каждому типу морской техники исторически сформированы и требуют дальнейшего развития, то методы организации взаимодействия многоуровневых организационных структур нуждаются в совершенствовании. Ряд отраслевых положений, разработанных НИИ «Румб» и ЦНИИ ТС в 80-е гг. прошлого века, применимы при создании АСУ, содержат инновационный потенциал, но не реализуются и требуют актуализации в регламентированных проектах цифровой трансформации отрасли. Указанные аспекты существенно сдерживают темпы реализации проектов развития систем управления предприятий судостроения и судоремонта.
- От отраслевой науки требуются научно-обоснованные рекомендации по применению отечественной НТД РФ в целях развития процессов руководства, организации и управления производственно-хозяйственной деятельностью верфей в составе «Программы работ цифровой трансформации АО «ОСК».
- Повышение эффективности процессов управления при создании и послепродажном обслуживании возможно на базе отечественной PLM-цифровой платформы, которая расширяет функционал PDM-систем и нивелирует разрыв между производственными процессами и бизнес-процессами верфи.

Требуется при активном участии научно-технической общественности отрасли обозначить предприятия (пилотной зоны) Группы ОСК для апробации проектов Программы цифровой трансформации и последующего ее расширения, анализа выполнения НИОКР, а также формирования бизнес-модели управления ПЖЦ морской техники. ■

26 января 2023 г. на 74-м году не стало Николая Яковлевича Калистратова, талантливого руководителя судостроительного производства, советника генерального директора АО «ЦС «Звездочка», с которым он был связан долгие годы.

После окончания в 1973 г. Ленинградского кораблестроительного института он работал на машиностроительном предприятии «Звездочка», где прошел путь от производственного мастера до главного инженера. В 1990 г. окончил полный курс Академии народного хозяйства при Совете Министров СССР, впоследствии защитил кандидатскую диссертацию. В 1992 г. был избран генеральным директором предприятия «Звездочка».

В декабре 1996 г. был назначен начальником Департамента судостроительной промышленности Миноборонпрома РФ, после ликвидации которого в марте 1997 г. вновь назначен генеральным директором предприятия «Звездочка». Здесь под его руководством проводились ремонт, модернизация и утилизация атомных подводных лодок. Построены и отремонтированы десятки надводных кораблей для ВМФ.

Николай Яковлевич внес большой вклад в организацию гражданского судостроения на «Звездочке», в освоение месторождений нефти и газа на Севере России, а также в развитие военно-технического сотрудничества с зарубежными странами.

ПАМЯТИ Н.Я. КАЛИСТРАТОВА



Под руководством Н.Я. Калистратова создано уникальное производство гребных винтов.

По его инициативе в 2000 г. на предприятии организовано производство по огранке алмазов в бриллианты.

В 2007 г. он был назначен генеральным директором ФГУП «ПО «Севмаш», где обеспечил переоборудование авианосца «Викрамадитья» для индийских ВМС и существенно увеличил стоимость международного контракта, не допустив работы завода в убыток.

В 2011–2015 гг. Н. Я. Калистратов – проректор Северного Арктического федерального университета имени М. В. Ломоносова, руководитель филиала этого университета в Северодвинске. Он любил молодежь, всегда стремился помогать молодым специалистам.

С 2015 по 2017 г. Н. Я. Калистратов – вновь генеральный директор АО «ЦС «Звездочка», а в последующие годы – его советник по гражданскому судостроению и перспективному развитию.

Н. Я. Калистратов награжден орденами «За заслуги перед Отечеством» III и IV степени, медалями. Он – лауреат Государственной премии РФ и Премии Правительства РФ. Ему присвоены звания «Почетный судостроитель РФ» и «Почетный гражданин города Северодвинска».

Коллеги по работе, в том числе сотрудники НИПТБ «Онега», где он когда-то проходил инженерную практику и коллектив которого всегда поддерживал, члены НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова, члены редсовета и редколлекции журнала «Морской вестник» выражают глубокое соболезнование его близким и друзьям, которые сохраняют память о нем как о высококлассном специалисте и замечательном человеке. ■



10 февраля 2022 г. в Екатерининском дворце Государственного музея-заповедника «Царское Село» в г. Пушкин состоялась 53-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания. В этом году она была посвящена 80-й годовщине разгрома немецко-фашистских захватчиков в Сталинградской битве, а также наследникам побед России на Донбассе, в Луганске, Херсоне и Запорожье и 113-й годовщине со дня создания Морского Собрания.

Традиционно участники ассамблеи начали прибывать в Екатерининский дворец, где их встречали дежурные старшины Морского Собрания и духовой оркестр, а перед входом в Большой Тронный зал – председатель СПбМС С. Н. Ирютин и генеральный директор ГМЗ «Царское Село» почетный член СПбМС О. В. Таратынова. Началась ассамблея с просмотра документального фильма «Сталинград», посвященного 80-летию разгрома немецко-фашистских захватчиков в Сталинградской битве. Далее состоялся концерт солистов Мариинского театра в сопровождении оркестра Ленинградской военно-морской базы под управлением старшего лейтенанта Н. Игнатова. В исполнении солистов Мариинского театра прозвучали песни военных лет и песни, связанные с морем и морской службой.

По окончании концерта С. Н. Ирютин открыл ассамблею. По его команде под звук фанфар был торжественно внесен Юбилейный знаменный флаг и исполнен гимн СПбМС. Далее слово было предоставлено духовнику Собрания настоятелю Никольского Богоявленского кафедрального собора протоиерею Александрию Скларову, который сердечно поздравил всех присутствующих гостей с юбилейной датой, почтил память отца Богдана, духовника Собрания с 1995 г., безвременно ушедшего в светлый день Рождества Христова, и поблагодарил за приглашение стать духовником Собрания.

Приветственное слово участникам ассамблеи прислал губернатор Санкт-Петербурга А. Д. Беглов, которое зачитал заместитель председателя Комитета по транспортной политике Д. Ю. Ваньчков:

«Уважаемые коллеги! Дорогие друзья!

Рад приветствовать вас на 53-й Ассамблее Санкт-Петербургского Морского собрания. Россия – великая морская держава, а Санкт-Петербург, созданный основателем Российского флота Петром I, всегда был и остается Морской столицей, крупнейшим центром судостроения и всемирно известной «кузницей кадров».

Наши моряки-балтийцы всегда были примером беззаветного служения Отечеству, нерушимого боевого братства и образцовой выучки. Именно на берегах Невы зародилась традиция создания морских собраний, которые сыграли важную роль в истории отечественного мореплавания. Сегодня ваш вклад в укрепление обороноспособности российского государства, поддержку ветеранов флота, патриотическое воспитание молодежи и сохранение памяти о победах России трудно переоценить.

Огромное вам спасибо за все ваши полезные дела во имя настоящего и будущего страны и Санкт-Петербурга трудно переоценить. Желаю всем вам крепкого здоровья, благополучия и успехов в ваших благородных трудах».

Затем С. Н. Ирютин доложил о работе СПбМС в 2022 г., в центре внимания которого оставались военнослужащие Минобороны России, судостроительная и транспортная отрасли, морские вузы Санкт-Петербурга, кадетские корпуса, школы, взаимодействие с музейным сообществом, учреждениями культуры. Он отметил, что год прошел под знаком празднования двух юбилеев – 350-летия со дня рождения императора Петра Великого и 220-летия со дня рождения адмирала

53-Я АССАМБЛЕЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

И. А. Лещенко, пресс-секретарь Санкт-Петербургского Морского Собрания, контакт. тел. (812) 312 7092

П. С. Нахимова. В связи с этими датами прошли две ассамблеи: 17–18 февраля состоялась зимняя и 21–22 июля летняя ассамблеи с приглашением членов Совета Ассоциации Морских собраний России. 10 июня 2022 г. в Собрании прошел круглый стол «Петр Великий и Российский флот», в работе которого принимали участие специалисты по истории петровской эпохи и Российского флота, члены Собрания, а также гости. К 350-летию юбилею Петра I была издана книга «Петровская эпоха в документах РГАВМФ», переиздан найденный в архиве библиотеки Собрания альбом «Сражение при Гангуте 1714 года – начало славы Российского флота». Был продолжен выпуск детской серии «Морская слава России». К 220-летию со дня рождения адмирала П. С. Нахимова изданы две книги серии: «Синоп. 1853», завершившей издание 13-томной серии книг для детей и юношества, посвященной триумфальным победам русского парусного флота в XVII–XIX вв. от Гангута до Синопа, и «Адмирал Нахимов». В ноябре серия книг «Морская слава России» (детская библиотека Морского Собрания) выдвинута на соискание премии Министерства обороны РФ в области культуры и искусства в 2022 г. в номинации «Литературное творчество и издательское дело».

С целью увековечивания памяти Н. В. Орлова Советом Старшин СПбМС принято решение о поддержке инициативы его почетного председателя адмирала В. И. Королёва, 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 об установке памятного знака Н. В. Орлову на здании Морского Собрания на средства его членов.

Совет старшин поддержал инициативу Ростовского-на-Дону Морского Собрания и Ассоциации «Водный транспорт Дона» о присвоении имени Николая Орлова сухогрузу пр. RSD 59, закладываемому на верфи «Красное Сормово», одному из 11 судов самой масштабной в гражданском судостроении России за последние годы серии, которую завод строит по заказу АО «ГТЛК».



Настоятель Николо-Богоявленского морского собора протоиерей отец Алексей Скларов, главный редактор журнала «Морской вестник» Э. А. Конов, председатель СПбМС С. Н. Ирютин, настоятель Кроштадтского Морского Никольского ставропигиального собора архимандрит Алексей (Ганжиг)



Руководитель Московского областного ООД «Россия Православная» Е.П. Захаров и директор АНО «Псковская регата» А.Н. Груньнышев вручают икону Св. праведного адмирала Федора Ушакова председателю СПбМС С.Н. Ирютину

В соответствии с ходатайством СПбМС к Главнокомандующему ВМФ адмиралу Н. А. Евменову и решением ГК ВМФ малый морской танкер пр. 23630, которой будет заложен в 2023 г., получит имя «Контр-адмирал Халиуллин» в целях увековечивания его памяти и больших заслуг в военно-морской деятельности.

В органы исполнительной власти Петербурга Морским собранием поданы документы с ходатайством о переименовании одной из улиц г. Пушкин в честь его Почетного гражданина И. П. Саутова, старшины СПбМС, более 20 лет возглавлявшего ГМЗ «Царское Село», видного деятеля российской культуры, профессора, советника Российской академии архитектуры и строительных наук, лауреата Государственной премии РФ и премии Правительства РФ, заслуженного работника культуры.

Активно работала наградная комиссия Морского Собрания. Награды вручены ветеранам ВМФ, представителям предприятий, воинских частей и учреждений ВМФ, ФСБ и иных ведомств, выпускникам морских вузов Петербурга, ВУНЦ ВМФ, нахимовцам, юнармейцам (г. Севастополь). По решению Совета старшин высшей наградой – Орденским знаком Морского Собрания – отмечен глава Республики Крым С. В. Аксенов за вклад в ее развитие, а также по случаю юбилеев воинских частей, соединений,



Председатель СПбМС С.Н. Ирютин, генеральный директор – генеральный конструктор АО «НПО «Радар ММС» Герой Российской Федерации Г.В. Анцев, председатель Камчатской МС И.А. Ершов

объединений и организаций ВМФ. Особо отличившимся членам СПбМС и приглашенным лицам были вручены ордена, медали и знаки Собрания, ценные подарки.

С. Н. Ирютин подчеркнул, что сегодня Россия столкнулась с новыми вызовами, что привело в итоге к проведению специальной военной операции на Украине. Поэтому помощь Донбассу является одной из главных задач Собрания. Ответственным по югу России назначен старшина Морского Собрания О. И. Грызлов, который одним из первых организовал поставку грузов из порта Ростов-на-Дону в порт Мариуполь. Собранием оказана помощь Донбассу и Луганской народной республике в формировании библиотеки детских книг (передано ок. 2000 экз.). Председатель СПбМС особо отметил руководство ООО «Трансгаз» в лице его генерального директора, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Г. А. Фокина и руководство НПО «Специальных материалов» в лице генерального конструктора, члена-корреспондента РАН, академика РАН, доктора технических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ М. В. Сильникова за такую инициативу и помощь в ее реализации.

СПбМС по-прежнему активно принимало участие в общественно значимых мероприятиях города. 30 и 31 июля в акватории Финского залива прошла «Гонка парусных яхт», посвященная Дню ВМФ России, которая в седьмой раз собрала яхтсменов города. В 2022 г. регата была посвящена 350-й годовщине со дня рождения Петра I. С этого года у регаты появился главный трофей – Кубок Почетного председателя Собрания, который вручается за лучший результат по сумме двух гонок и зависит от количества участников в классе. Первым обладателем Кубка стал экипаж яхты «Лена» класса Л6. Мероприятия, проводимые СПбМС, освещались в «Морской газете», журнале «Морской вестник», а также на портале «Mil. Press FLOT» и на сайте Собрания.



Вручение награды А.Л. Кашину – старшине Морского собрания, заместителю генерального директора по науке НПО «Завод «Волна»

СПбМС 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 и морским учреждениям нашего города.

В заключение своего доклада С. Н. Ирютин пожелал всем крепкого здоровья, счастья, активной плодотворной работы во славу Родины и Флота, веры в их достойное будущее.

Затем последовали выступления адмирала В. И. Королёва, почетных гостей ассамблеи, членов Морского Собрания. Все отметили большие достижения Морского Собрания в сохранении патриотических и флотских ценностей и его вклад в дело дальнейшего развития России как морской державы.

После окончания официальной части гости были приглашены на Торжественный прием от имени Почетного председателя Собрания адмирала В. И. Королева, который завершился программой «Русская зима» в Александровском парке Царского Села. ■

1. Автор представляет статью в электронном виде объемом до 20 000 знаков, включая рисунки. Текст набирается в редакторе MS Word под Windows, формулы – в формульном редакторе MathType. Иллюстрации, помещенные в статье, должны быть представлены дополнительно в форматах: TIFF CMYK (полноцветные), TIFF GRAYSCALE (полутонные), TIFF BITMAP (штриховые), EPS, JPEG, с разрешением 300 dpi для полутонных, 600 dpi для штриховых и в размерах, желательных для размещения.

2. Статья должна содержать реферат объемом до 300 знаков, ключевые слова и библиографо-библиотечный индекс УДК. Автор указывает ученую степень, ученое звание, место работы, должность и контактный телефон, а также дает в письменной форме разрешение редакции журнала на размещение статьи в Интернете и Научной электронной библиотеке после

публикации в журнале. Статья представляется с рецензией.

3. Статьи соискателей и аспирантов принимаются к публикации на бесплатной и 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 629.5 (09) **Ключевые слова:** атомная подводная лодка, конструкторское бюро, поколение, баллистическая ракета, торпеда, ракетно-торпедное оружие, атомный подводный крейсер, проект, проектирование

А.Р. Знаменников. Стратегия победы на исторических рубежах. К 75-летию Санкт-Петербургского морского бюро машиностроения «Малахит»//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 1

Рассмотрены предпосылки создания и историческая ретроспектива двух конструкторских бюро: СКБ-143 (Союзное проектно-монтажное конструкторское бюро «Малахит» с 1966 г.) и ЦКБ-16 (Центральное проектное бюро «Волна» с 1966 г.), объединенных в одно Союзное проектно-монтажное бюро машиностроения «Малахит» в 1974 г. и выполнявших на протяжении 75 лет проектирование боевых, исследовательских и специальных подводных лодок, автономных глубоководных аппаратов и других технических средств для народного хозяйства. Проанализирована эволюция проектирования отечественных подводных лодок с ядерной энергетикой, рождение подводных лодок с баллистическими ракетами и ракетно-торпедным оружием для подводных лодок всех типов, дан обзор развития автономных глубоководных аппаратов. Ил. 15.

УДК 629.5 **Ключевые слова:** ледокольный флот, Береговая охрана, военно-морские силы, приарктические государства, арктический регион, геополитика

А.В. Архипов, Д.В. Курочкин, Г.В. Дикарев, П.А. Лукашевич, М.Ю. Гаршин, П.Г. Тенишев. Обзор состояния ледокольных флотов береговой охраны и ВМС приарктических государств. Часть 2//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 13

Дан обзор текущего состояния и перспектив развития ледокольного флота Береговой охраны и военно-морских сил приарктических государств – Норвегии и России. Представлены краткие тактико-технические характеристики ледоколов и взгляды на их использование в Арктике. Т. 2. Ил. 19. Библиогр. 30 назв.

УДК 629.564.4 **Ключевые слова:** научно-исследовательское судно, катамаран, инновационные решения, сменные контейнеры-лаборатории, автоматизация

Ю.В. Баглюк, А.Д. Груверман, В.Р. Душко, М.П. Евстигнеев, В.Н. Пахомов. «Пионер-М» – инновационное судно для проведения научно-исследовательских работ//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 23

В статье дается описание научно-исследовательского судна (НИС «Пионер-М» – первого в России судна катамаранного типа, созданного в последние годы в классе научно-исследовательского флота. Даны основные задачи НИС, его технические характеристики, перечислены главные инновационные решения, внедренные в проект. Впервые в новейшей истории России заказчиком проектирования и строительства судна является научно-образовательное учреждение – Севастопольский государственный университет. Ил. 6.

УДК 629.5.037, 629.5.069 **Ключевые слова:** Флетнера, жесткий парус, система пневмообмыва, экономия топлива, снижение выбросов, инновационные технологии, энергетическая эффективность

С.Ю. Афанасьева, А.В. Сердечный, С.М. Тимофеев, И.В. Щербаков, О.Г. Власов. Анализ целесообразности

применения технологий повышения энергетической эффективности на судне проекта ВС90//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 31

Выполнен анализ целесообразности установки ветродвигательных систем на сухогруз неограниченного района плавания. Определено, что установка роторов Флетнера, жесткого паруса или системы пневмообмыва может способствовать значительной экономии топлива и снижению вредных выбросов. Т. 1. Ил. 7. Библиогр. 27 назв.

УДК 629.128 **Ключевые слова:** укладка кабелей, внутримысловые плавсредства для укладки кабелей, кабелеукладочные устройства и суда, монтаж и ремонт подводных кабельных линий

Р.Н. Караев. Инженерно-технологическое обеспечение кабелеукладочных работ. Часть 1//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 36

Рассмотрены проектные решения внутримысловых кабелеукладочных нескольких типов. Проанализированы требования к монтажу и ремонту подводных кабельных линий. Рассмотрены специальные кабелеукладочные устройства. Т. 2. Ил. 3. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.5.01:629.56 **Ключевые слова:** судовое комплектующее оборудование, перепроектирование, импортозамещение, государственный контракт, разработка документации

Д.А. Посадов, И.Н. Котихин. Работа в новых экономических условиях: вопрос замены судового комплектующего оборудования на примере реализации проекта MPSV06M//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 41

Рассмотрены проблемы, возникшие в процессе реализации в КБ «Вымпел» государственного контракта на разработку комплекта конструкторской документации проекта MPSV06M аварийно-спасательного судна. Применение в большом количестве альтернативного оборудования привело к изменению главных размеров проектируемого судна. Отсутствие необходимых отечественных дизель-генераторов сдерживает корректировку проектной документации судна. Ил. 1.

УДК 629.5.018 **Ключевые слова:** вибрация, коэффициент демпфирования, конструкционный материал, органическое стекло, карбоновый композит, амплитудно-частотные характеристики, эксперимент, лазерный виброметр

Н.А. Тарануха, Мин Ко Ко. Эффект предельного перехода и формулирование на его основе метода определения и систематизации коэффициентов демпфирования различных конструкционных материалов//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 42

О выявлении, исследовании и применении нового механического эффекта в области теории упругости колеблющихся систем – эффекта предельного перехода, который проявляется в виде свойства демпфирования различных конструкционных материалов. Конкретная цель работы – определение демпфирующих свойств нескольких материалов (сталь, дюраль, карбоновый углепластиковый композит, органическое стекло) на основе измерения колебаний в воздухе и в жидкости (воде). В работе исследовалась одна балка и модели с разными площадями парусности. При измерении масса на конце колеблющейся балки во всех случаях оставалась одинаковой. Конечная цель представляла собой определение коэффициентов

демпфирования материала колеблющейся конструкции. При этом использовалась идея предельного перехода. Методика разработана для практического применения и позволяет определять амплитудно-частотные характеристики систем, колеблющихся в различных жидкостях и состоящих из различных материалов. Т. 5. Ил. 6. Библиогр. 13 назв.

УДК 658.512.2.07 **Ключевые слова:** проектирование судов, конструкторское бюро судостроения, электронная информационная логистика, принципы электронной информационной логистики, электронные информационные потоки, графические документы, технические требования

Ю.В. Дорогов, Б.П. Ионов. Оптимизация производственных процессов конструкторского бюро судостроения на основе принципов функционирования системы электронной информационной логистики//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 47

Посвящена проблемам оптимизации процессов проектирования судов. Предназначена для специалистов проектно-конструкторских бюро судостроения и других проектных организаций, продукцией которых является конструкторская документация, а также для студентов высших учебных заведений. Т. 2. Ил. 3. Библиогр. 2 назв.

УДК 629.05.081 **Ключевые слова:** подготовка поверхности, лазерная очистка поверхности, ржавчина, окалина, электродуговая металлизация, защита от коррозии

Е.В. Богданов, К.О. Будников. Лазерная очистка и защита корпусов судов и кораблей от коррозии//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 54

В последние годы наблюдается значительный рост использования лазерных технологий в судостроительной промышленности. Лазерная очистка поверхности – это быстрый, эффективный и экологически чистый метод удаления загрязнений и подготовки поверхностей судов к покраске. В статье рассмотрены преимущества и недостатки использования лазерной очистки поверхности в судостроении по сравнению с традиционными методами ее подготовки. Также рассмотрена электродуговая металлизация для защиты корпусов судов и кораблей от коррозии. Напыляемый металл действует, как барьер, снижая риск коррозии и повышая надежность корпуса. Т. 2. Ил. 3. Библиогр. 4 назв.

УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** перспективные боевые надводные корабли, электродвижение, объединенная электроэнергетическая система, корабельные энергетические установки, компоновочная схема, сменное решение, CODLAG, CODLOG, CODELOG, CODELAG, полное электродвижение, полностью электрический корабль

В.В. Барановский, П.Г. Печковский, А.В. Довличарова. Новые подходы к использованию системы электродвижения на перспективных боевых надводных кораблях. Часть 2//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 59

Выполнен подробный анализ направлений развития и совершенствования энергетических установок (ЭУ) перспективных боевых надводных кораблей с использованием систем электродвижения. Проанализированы технические решения по развитию корабельных ЭУ военно-морских флотов ведущих морских держав и РФ. Предложены инновационные технические решения по формированию схемного исполнения ЭУТ. Т. 1. Ил. 11. Библиогр. 10 назв.

- УДК 621.436:621.438 **Ключевые слова:** корабельные газотурбинные двигатели, ресурс, топливная экономичность, минимизация расхода топлива, режим использования газотурбинных двигателей
- П.Г. Печковский, К.А. Ефремов. О необходимости разработки корабельного газотурбинного двигателя большой агрегатной мощности//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 68**
- О сложности обеспечения заложенных тактико-технических характеристик надводных кораблей при использовании разработанных «базовых» газотурбинных двигателей производства ПАО «ОДК-Сатурн» вследствие наличия жестких ограничений по ресурсу и топливной эффективности. Как выход из создавшегося положения предлагается разработка и создание двигателей большой агрегатной мощности. Т. 2. Ил. 10. Библиогр. 5 назв.
- УДК 623.827 **Ключевые слова:** морской подводный объект (МПО), электрохимический генератор (ЭХГ), цифровой двойник, математическая модель (ММ), топливный элемент (ТЭ), водород, кислород, расход, клапан, привод, регулятор, энергетическая установка (ЭУ)
- А.Н. Дядик, А.В. Юшков. Цифровой двойник электрохимического генератора//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 72**
- Определено понятие «цифровой двойник» энергетической установки (ЭУ) с электрохимическим генератором (ЭХГ) на основе имитационного моделирования работы в составе ЭУ морских подводных объектов. С целью определения динамических характеристик ЭУ с ЭХГ необходимо математически описать физические процессы, происходящие при ее работе. Процесс математического моделирования реализуется с использованием модульного принципа построения программ, в соответствии с которым модель объекта разбивается на ряд функциональных блоков, что и входит в понятие цифрового двойника: топливный элемент в составе ЭХГ; регулятор давления водорода; регулятор давления кислорода; клапан подачи водорода и его привод; клапан подачи кислорода и его привод; модель подачи водорода; модель подачи кислорода. Полученные математические зависимости в своей основе опираются на основополагающие законы термодинамики и гидромеханики, поэтому правильно описывают физические процессы в оборудовании ЭУ с ЭХГ. Ил. 1. Библиогр. 2 назв.
- УДК 629.54:629.5.035.58 **Ключевые слова:** электрические суда, соосные гребные винты противоположного вращения, электрическая передача мощности
- А.Р. Тогуняц, С.Л. Анчиков, Л.И. Вишневыский. О применении соосных гребных винтов с электрической передачей мощности на малотоннажных судах//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 75**
- Рассмотрены проекты существующих малотоннажных электрических пассажирских судов и иных малотоннажных судов, на которых целесообразно использование соосных гребных винтов противоположного вращения (СГВ) с целью энергосбережения. Обоснованы и представлены технические требования к электроприводу СГВ с характерной мощностью 300 кВт для малотоннажных судов. Перечислены наиболее вероятные конструктивные решения электрической передачи мощности на СГВ. Т. 1. Ил. 7. Библиогр. 18 назв.
- УДК 629.12; 629.5.037; 685.732 **Ключевые слова:** транспортирование, лопастные движители, судовые движители с колебательным движением, гребные винты с переставной лопастью, принадлежность для облегчения плавания
- Ю.В. Швед. Самостабилизирующийся лопастный движитель//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 79**
- Предложено и экспериментально опробовано техническое решение лопастного движителя с колеблющимися лопастями в текучей среде. Оно направлено на обеспечение самоустановки лопастей на оптимальный угол атаки. Решение открывает возможность для внедрения простых
- и в то же время эффективных движителей с машущим подводным крылом. На основе предложенной конструкции автором спроектированы ласты с повышенным пропульсивным коэффициентом в широком диапазоне скоростей, а также плавательное средство на шарнирно присоединенных подводных крыльях, не требующее для поддержания скорости гребного винта. Ил. 12. Библиогр. 33 назв.
- УДК 681.5.015.26 **Ключевые слова:** полунатурное моделирование, технология экспериментальной отработки, комплекс бортового управления, имитатор
- А.Н. Попадьин, В.С. Кашлаков, А.А. Ольский, Е.А. Анисимов. Разработка проблемно-ориентированного подхода к проектированию механических имитаторов комплекса полунатурного моделирования//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 85**
- Рассмотрена технология проектирования имитаторов для комплексов полунатурного моделирования, созданных в АО «Концерн «Гранит-Электрон». Описан проблемно-ориентированный подход к созданию механических имитаторов для отработки перспективных образцов робототехнических систем различного применения. Применение имитаторов способствует повышению обоснованности решений, принимаемых на этапах проектирования образца, а также сокращению объемов испытаний, сроков и стоимости их проведения. Ил. 2. Библиогр. 7 назв.
- УДК 629.5.062.13 **Ключевые слова:** автоматизация, алгоритм, безопасность, движение, система управления, судно на подводных крыльях
- Ю.В. Копытов, Д.А. Скороходов. Влияние алгоритмов системы управления движением на безопасность судна на подводных крыльях//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 88**
- Рассмотрены особенности влияния алгоритмов системы управления движением на безопасность судов на подводных крыльях, а также различные аварийные ситуации судов. Ил. 1. Библиогр. 9 назв.
- УДК 62.519 **Ключевые слова:** манипуляторное устройство, система управления, подводно-технические работы, манипулятор с электрическими приводами, прототипирование
- В.В. Потехин, П.К. Смирнов, П.Г. Федоров, Е.А. Черкашин. Разработка и создание системы управления глубоководным гидравлическим манипулятором МГМ-7 с прототипированием на основе полунатурной модели с электрическим приводом. Часть 1//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 95**
- Выполнен обзор разновидностей систем управления, пригодных для гидравлического манипулятора МГМ-7. На основании полученных выводов сделаны шаги по разработке и созданию программно-аппаратного комплекса рассматриваемого манипулятора. Ил. 1. Библиогр. 2 назв.
- УДК 623.094 **Ключевые слова:** микропроцессор, вычислительная машина, программное обеспечение, элементная база отечественного производства
- В.Н. Грачёв, А.Ю. Смирнов, Б.Ю. Семёнов. Опыт разработки универсальной вычислительной машины (УВМ) с применением перспективной элементной базы//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 97**
- Рассмотрен опыт, полученный авторами статьи при разработке схемотехнических решений комплекта модулей универсальной вычислительной машины (УВМ) для применения в изделиях, поставляемых АО «НПФ «Меридиан». Т. 1. Ил. 6.
- УДК 004.896, 004.384 **Ключевые слова:** интеллектуальная система управления, бортовой микроконтроллер, нечеткий вычислитель, встраиваемое программное обеспечение
- А.Е. Васильев, А.В. Вегнер, В.А. Карпенко, Ие Мин Хтет, Хтун Шайн. Автоматизированная генерация программных систем нечеткой обработки данных для устройств управления объектами судового машиностроения//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 101**
- Рассмотрены принципы построения инструментальных средств для автоматизированной генерации программных реализаций нечетких вычислителей с установленными показателями точности, быстроты действия и объема требуемой памяти. Приведен пример практической реализации варианта такого инструментального средства. Ил. 6. Библиогр. 18 назв.
- УДК 532.537 **Ключевые слова:** автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА), модель движения, модель возмущений программного движения, телеметрические измерения
- С.Н. Шаров, С.Г. Толмачев, В.В. Соловьева. Модель генератора динамического шума сигналов управления необитаемого подводного аппарата в режиме маневрирования по заданной программе//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 106**
- Рассмотрены способы синтеза генератора интегрированных динамических шумов управляющих сигналов пространственного положения АНПА и сигналов управления бортовым поисковым локатором в режиме движения по заданной программе. В основу положены результаты спектрального и корреляционного анализа телеметрических (ТМ) измерений в условиях натурных испытаний. Такой генератор в динамической модели системы управления АНПА позволяет приблизить управление, реализуемое на математической модели, к условиям натурных испытаний. Ил. 3. Библиогр. 8 назв.
- УДК 004.4 **Ключевые слова:** информационная система, архитектура, объектная модель, транспортировка чугуна, программное обеспечение
- В.А. Емельянов, С.Г. Черный, Н.Ю. Емельянова, К.В. Громов. Архитектура информационной системы на судостроительных предприятиях в процессе идентификации ремонтных работ//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 108**
- Обоснована актуальность разработки информационной системы для автоматизированного определения веса (массы) жидкого чугуна и дальнейшая ее подготовка для судостроительных предприятий. Предложена и описана верхнеуровневая модель архитектуры информационной системы определения веса жидкого чугуна. Описано разработанное программное обеспечение этой архитектуры, которое реализует нейросетевой метод определения веса жидкого чугуна на основе первичных данных о нем. Продемонстрированы экспериментальные результаты, полученные с помощью предложенной информационной системы для внедрения в цикл судостроительного и судоремонтного производства. Сравнительные результаты функционирования предложенной системы показали снижение погрешности определения веса жидкого чугуна. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 6 назв.
- УДК 338.32 **Ключевые слова:** точка кипения, гражданская морская деятельность, развитие компетенций персонала, центр диверсификации, национальная технологическая инициатива
- Д.В. Вавилов, В.В. Дударенко. Проектный офис «Точка кипения для морской деятельности». Опыт работы//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 112**
- Рассмотрены вопросы создания центров подготовки и развития персонала в области морской деятельности АО «ЦНИИ «Курс» на основе методологии «Точек кипения» Национальной технологической инициативы. Ил. 6. Библиогр. 4 назв.
- УДК 623.8 **Ключевые слова:** Военно-морская академия, кафедра тактических свойств боевых средств, профессорско-преподавательский состав, главные управления ВМФ, военно-морское вооружение и техника
- В.Н. Половинкин, С.В. Федулов, А.Н. Конев. Деятельность кафедры тактических свойств боевых средств военно-морской академии в годы Великой Отечественной войны//Морской вестник. 2023. № 1 (85). С. 117**
- Освещается научно-исследовательская и практическая деятельность кафедры тактических свойств боевых средств Военно-морской академии в годы Великой Отечественной войны как ключевой структуры ВМА, определяющей практическую направленность подготовки кадров и научной работы. Ил. 5. Библиогр. 35 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 629.5 (09) **Keywords:** nuclear submarine, design office, generation, ballistic missile, torpedo, rocket and torpedo weapon, nuclear submarine cruiser, project, design

A.R. Znamenshchikov. Strategy for victory at historical frontiers. To the 75th anniversary of the St. Petersburg Marine Design Bureau «Malachite»//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 1

The prerequisites for the creation and historical retrospective of two design bureaus are considered: SKB-143 (Union Design Bureau «Malakhit» since 1966) and TsKB-16 (Central Design Bureau «Volna» since 1966), united into one Union Design Bureau – assembly bureau of mechanical engineering «Malachite» in 1974 and carried out for 75 years the design of combat, research and special submarines, autonomous deep-sea vehicles and other technical means for the national economy. The evolution of the design of domestic submarines with nuclear power, the birth of submarines with ballistic missiles and missile-torpedo weapons for submarines of all types is analyzed, an overview of the development of autonomous deep-sea vehicles is given. Fig. 15.

UDC 629.5 **Keywords:** icebreaking fleet, Coast Guard, naval forces, Arctic states, Arctic region, geopolitics

A.V. Arkhipov, D.V. Kurochkin, G.V. Dikarev, P.A. Luke-shevich, M.Yu. Garshin, P.G. Tenishev. Review of the state of the icebreaker fleets of the coast guard and the Navy of the Arctic states. Part 2//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 13

The material provides an overview of the current state and prospects for the development of the icebreaker fleet of the Coast Guard and the Naval Forces of the Arctic states – the USA, Canada, Denmark, Norway and Russia. Brief performance characteristics of icebreakers and views on their use in the Arctic are presented. T. 3. Fig. 13. Bibliography 32 titles.

UDC 629.564.4 **Keywords:** research vessel, catamaran, innovative solutions, interchangeable laboratory containers, automation

Yu.V. Baglyuk, A.D. Gruverman, V.R. Dushko, M.P. Evstigneev, V.N. Pakhomov. «Pioneer-M» – an innovative vessel for research work//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 23

The article describes the research vessel (RV) «Pioneer-M» – the first catamaran-type vessel in Russia, created in recent years in the class of the research fleet. The main tasks of the NIS, its technical characteristics are given, the main innovative solutions implemented in the project are listed. For the first time in the modern history of Russia, the customer for the design and construction of a ship is a scientific and educational institution – Sevastopol State University. Fig. 6.

UDC 629.5.037:629.5.069 **Keywords:** fiber optic sail, pneumatic washing system, fuel economy, emission reduction, innovative technologies, energy efficiency

S.Yu. Afanas'eva, A.V. Serdechny, S.M. Timofeev, I.V. Shcherbakov, O.G. Vlasov. Analysis of the feasibility of using technologies to improve energy efficiency on a vessel of the VS90 project//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 31

The analysis of the feasibility of installing wind turbine systems on a dry cargo ship of an unlimited navigation area is carried out. It has been determined that the installation of Flettner rotors, a rigid sail or an air wash system can contribute to significant fuel savings and reduce harmful emissions. T. 1. Fig. 7. Bibliography 27 titles.

UDC 629.128 **Keywords:** cable laying, infield watercraft for cable laying, cable laying devices and vessels, installation and repair of submarine cable lines

R.N. Karaev. Engineering and technological support of cable-laying works. Part 1//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 36

The design solutions of in-field cable layers of several types are considered. The requirements for the installation and repair of submarine cable lines are analyzed. Special cable laying devices are considered. T. 2. Fig. 10. Bibliography 6 titles.

UDC 629.5.01:629.56 **Keywords:** ship component equipment, redesign, import substitution, government contract, documentation development

D.A. Posadov, I.N. Kotikhin. Work in the new economic conditions: the issue of replacing ship components on the example of the implementation of the MPSV06M project//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 41

The problems that have arisen in the process of implementing the state contract for the development of a set of design documentation for the MPSV06M project of a rescue vessel in DB Vympel are considered. The use of a large number of alternative equipment has led to a change in the main dimensions of the designed vessel. The lack of the necessary domestic diesel generators hinders the correction of the ship's design documentation. Fig. 1.

UDC 629.5.018 **Keywords:** vibration, damping coefficient, structural material, organic glass, carbon composite, amplitude-frequency characteristics, experiment, laser vibrometer

N.A. Taranukha, Min Ko Ko. The effect of the limit transition and the formulation on its basis of a method for determining and systematizing the damping coefficients of various structural materials//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 42

On the identification, study and application of a new mechanical effect in the field of the theory of elasticity of oscillating systems – the effect of limit transition, which manifests itself in the form of damping properties of various structural materials. The specific purpose of the work is to determine the damping properties of several materials (steel, duralumin, carbon fiber composite, organic glass) based on the measurement of oscillations in air and in liquid (water). In the work, one beam and models with different sail areas were studied. When

measuring, the mass at the end of the vibrating beam remained the same in all cases. The ultimate goal was to determine the damping coefficients of the material of the oscillating structure. In this case, the idea of passage to the limit was used. The technique has been developed for practical application and makes it possible to determine the amplitude-frequency characteristics of systems oscillating in various liquids and consisting of various materials. T. 5. Fig. 5. Bibliography 13 titles.

UDC 658.512.2.07 **Keywords:** ship design, shipbuilding design bureau, electronic information logistics, principles of electronic information flows, technical requirements in graphic documents.

Yu.V. Dorogov, B.P. Ionov. Optimization of production processes shipbuilding design bureau on the basis of the principles of the functioning of the system of electronic information logistics//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 47

The article is devoted to the problems of optimizing the production processes of ship design. It is intended for specialists of shipbuilding design bureaus and other design organizations whose products are design documentation, as well as for students of higher educational institutions. T. 2. Fig. 3. Bibliography 2 titles.

UDC 629.05.081 **Keywords:** surface preparation, laser surface cleaning, rust, scale, arc plating, corrosion protection

E.V. Bogdanov, K.O. Budnikov. Laser cleaning and protection of ship hulls and ships from corrosion//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 54

In recent years, there has been a significant increase in the use of laser technology in the shipbuilding industry. Laser surface cleaning is a fast, efficient and environmentally friendly method of removing contaminants and preparing ship surfaces for painting. The article discusses the advantages and disadvantages of using laser surface cleaning in shipbuilding over traditional methods of surface preparation. Electric arc plating is also considered to protect the hulls of ships and ships from corrosion. The sprayed metal acts as a barrier, reducing the risk of corrosion and increasing the reliability of the hull. T. 2. Fig. 3. Bibliography 4 titles.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** advanced combat surface ships, electric propulsion, integrated electric power system, ship power plants, layout diagram, circuit design, CODLAG, CODLOG, CODELOG, CODELAG, full electric propulsion, fully electric ship

V.V. Baranovsky, P.G. Pechkovsky, A.V. Dovlicharova. New approaches to the use of the electric propulsion system on advanced combat surface ships. Part 2//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 59

A detailed analysis of the directions of development and improvement of power plants (PP) of advanced combat surface ships using electric propulsion systems has been carried out. Technical solutions for the development of ship power plants of the navies of the leading maritime powers and the Russian Federation are ana-

lyzed. Innovative technical solutions for the formation of the circuit design of the ED are proposed. T. 2. Fig. 20. Bibliography 10 titles.

UDC 621.436:621.438 **Keywords:** ship gas turbine engines, service life, fuel efficiency, minimization of fuel consumption, mode of use of gas turbine engines

P.G. Pechkovsky, K.A. Efremov. On the need to develop a ship's gas turbine engine of large aggregate capacity//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 68

On the complexity of ensuring the inherent performance characteristics of surface ships when using the developed «basic» gas turbine engines manufactured by PJSC «UEC-Saturn» due to the presence of severe limitations on resource and fuel efficiency. As a way out of this situation, it is proposed to develop and create engines of large aggregate power. T. 2. Fig. 10. Bibliography 5 titles.

UDC 623.827 **Keywords:** marine underwater object (MPO), electrochemical generator (ECG), digital twin, mathematical model (MM), fuel cell (FC), hydrogen, oxygen, consumption, valve, drive unit, regulator, power plant (EU)

A.N. Dyadik, A.V. Yushkov. Digital twin of an electrochemical generator//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 72

The concept of «digital twin» of a power plant (PP) with an electrochemical generator (ECG) is defined on the basis of simulation modeling of operation of marine underwater objects as part of the PP. In order to determine the dynamic characteristics of an ED with an ECG, it is necessary to mathematically describe the physical processes that occur during its operation. The process of mathematical modeling is implemented using the modular principle of program construction, according to which the object model is divided into a number of functional blocks, which is included in the concept of a digital twin: a fuel cell as part of an ECG; hydrogen pressure regulator; oxygen pressure regulator; hydrogen supply valve and its actuator; oxygen supply valve and its actuator; hydrogen supply model; model of oxygen supply. The obtained mathematical dependencies are based on the fundamental laws of thermodynamics and hydromechanics, therefore, they correctly describe the physical processes in the equipment of the power plant with ECG. Fig. 1. Bibliography 2 titles.

UDC 629.54:629.5.035.58 **Keywords:** small-tonnage electric vessels, contra-rotating propellers, electric power transmission.

A.R. Togunjac, S.L. Anchikov, L.I. Vishnevsky. On the Application of Contra-Rotating Propellers with Electric Power Transmission on Small-Tonnage Vessels//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 75

The projects of existing small-tonnage electric passenger vessels and other small-tonnage vessels are considered, on which it is advisable to use counter-rotating propellers (CRP) in order to save energy. The technical requirements for the electric drive of the CRP with a characteristic power of 300 kW for small-tonnage vessels are substantiated and presented. The most probable design solutions for electrical power transmission to CRP are listed. T. 2. Fig. 7. Bibliography 18 titles.

UDC 629.12; 629.5.037; 685.732 **Keywords:** transportation, paddle propellers, ship propellers with oscillatory motion, propellers with shifting blades, accessories for facilitating navigation

Yu.V. Shved. Self-stabilizing blade propulsion//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 79

A technical solution for a propeller with oscillating blades in a fluid medium is proposed and experimen-

tally tested. It is aimed at ensuring self-adjustment of the blades to the optimal angle of attack. The solution opens the possibility for the implementation of simple and at the same time efficient hydrofoil flapping propulsion. On the basis of the proposed design, the author designed fins with an increased propulsion coefficient in a wide range of speeds, as well as a floating facility on hinged hydrofoils, which does not require a propeller to maintain speed. Fig. 12. Bibliography 33 titles.

UDC 681.5.015.26 **Keywords:** semi-natural simulation, experimental testing technology, on-board control complex, simulator

A.N. Popad'in, V.S. Kashlakov, A.A. Ol'sky, E.A. Anisimov. Development of a problem-oriented approach to the design of mechanical simulators of a complex of semi-natural modeling//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 85

The article discusses the technology for designing simulators for the HIL simulation complexes created at JSC Concern Granit-Electron. A problem-oriented approach to the creation of mechanical simulators for testing promising samples of robotic systems for various applications is described. The use of simulators provides an increase in the validity of decisions made at the design stages of a sample, as well as a reduction in the scope of tests, the timing and cost of their implementation. Fig. 2. Bibliography 7 titles.

UDC 629.5.062.13 **Keywords:** automation, algorithm, safety, movement, control system, hydrofoil

Yu.V. Kopytov, D.A. Skorokhodov. Impact of motion control system algorithms of a hydrofoil ship//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 88

The article discusses the features of the influence of motion control system algorithms on the safety of hydrofoils, as well as various emergency situations of hydrofoils. Fig. 1. Bibliography 9 titles.

UDC 62.519 **Keywords:** manipulator device, control system, underwater technical works, manipulator with electric drives, prototyping

V.V. Potekhin, P.K. Smirnov, P.G. Fedorov, E.A. Cherkashin. Development and creation of a control system for the MGM-7 deep-sea hydraulic manipulator with prototyping based on a half-life model with an electric drive. Part 1//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 95

A review of the types of control systems suitable for the MGM-7 hydraulic manipulator is made. Based on the findings, steps were taken to develop and create a software and hardware complex for the manipulator under consideration. Fig. 1. Bibliography 2 titles.

UDC 623.094 **Keywords:** microprocessor, computer, software, element base of domestic production

V.N. Grachyov, A.Yu. Smirnov, B.Yu. Semyonov. Experience in the development of a universal computer (UVM) using a promising element base//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 97

The experience gained by the authors of the article in the development of circuit solutions for a set of universal computer modules (UCM) for use in products supplied by JSC RPF Meridian is considered. T. 1. Fig. 6.

UDC 004.896, 004.384 **Keywords:** intelligent control system, onboard microcontroller, fuzzy solver, embedded software

A.E. Vasil'ev, A.V. Wegner, V.A. Karpenko, Ye Min Htet, Htet Shain. Auto generation of fuzzy data processing soft-systems for ship machinery control devices//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 101

The principles of constructing tools for automated generation of fuzzy solvers software implementations with predefined values of accuracy, speed and required

memory are discussed. An example of the practical implementation of the such IDE is given. Fig. 6. Bibliography 18 titles.

UDC 532.537 **Keywords:** autonomous uninhabited underwater vehicle (AUV), AUV motion model, AUV program motion perturbation model, telemetry measurements

S.N. Sharov, S.G. Tolmachev, V.V. Solov'yova. A model of a dynamic noise generator of control signals of an uninhabited underwater vehicle in motion mode according to a given program//Morskoy vestnik. 2023. No. 1 (85). P. 106

The methods of synthesis of the generator of integrated dynamic noise of control signals of the spatial position of an autonomous underwater vehicle (AUV) are considered and control signals of the on-board GPS locator in motion mode according to a given program based on the results of spectral and correlation analysis of telemetric measurements under field tests. Such a generator in the dynamic model of the AUV control system makes it possible to bring the control implemented on the mathematical model closer to the conditions of field tests. Fig. 3. Bibliography 8 titles.

UDC 004.4 **Keywords:** information system, architecture, object model, transportation of cast iron, software

V.A. Yemel'yanov, S.G. Chernyi, N.Yu. Yemel'yanova, K.V. Gromov. The architecture of the information system at shipbuilding enterprises in the process of identification of repair work//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 108

The article substantiates the relevance of developing an information system for the automated determination of the weight of liquid iron. A top-level model of the architecture of an information system for determining the weight of liquid iron is proposed and described. The developed software for the architecture of an information system for determining the weight of liquid iron is described, which implements a neural network method for determining the weight of liquid iron based on primary weight data. The experimental results of determining the weight of liquid iron using the proposed information system are demonstrated. Comparative results of the functioning of the proposed information system showed a decrease in the error in determining the weight of liquid iron. T. 1. Fig. 5. Bibliography 6 titles.

UDC 338.32 **Keywords:** boiling point, civil maritime activity, development of personnel competencies, diversification center, national technology initiative

D.V. Vavilov, V.V. Dudarenko. Project office «Boiling point for maritime activities». Work experience//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 112

The article deals with the creation of centers for training and development of personnel in the field of maritime activities of JSC TsNII Kurs based on the methodology of «Boiling Points» of the National Technology Initiative. Fig. 7.

UDC 623.8. **Keywords:** Naval Academy, Department of Technical Properties of Military Equipment, teaching staff, main departments of the Navy, naval weapons and equipment.

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov, N.A. Koneev. Activity of the Department of Tactical Properties of Military Equipment of the Naval Academy during the Great Patriotic War//Morskoy vestnik. 2023. № 1 (85). P. 117

The article highlights the research and practical activities of the Department of Tactical Properties of military Equipment of the Naval Academy during the Great Patriotic War, as a key structure of the VMA, which determines the practical orientation of personnel training and scientific work. Fig. 6. Bibliography 35 titles.