

Морской



Вестник

№3 (87)

сентябрь

2023

ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik



ПАО «СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ФИРМА
«АЛМАЗ» – 90 ЛЕТ



197198, Санкт-Петербург,
Петровский пр-кт., 26 литера Ч, офис 1
тел. : +7 812 235 5148, факс: +7 812 235 7069
market@almaz.spb.ru, www.almaz.spb.ru

1 сентября 2023 г. исполнилось 75 лет Леониду Герасимовичу Грабовцу, председателю Совета директоров и директору по стратегическому развитию ПАО «Судостроительная фирма «Алмаз» и АО «Морской завод «Алмаз», академику Санкт-Петербургской инженерной академии, члену-корреспонденту Российской инженерной академии.

Л. Г. Грабовец родился 1 сентября 1948 г. в селе Пульмо Любомильского района Волынской области.

После школы прошел службу в армии (1966–1968). Свою трудовую деятельность Леонид Герасимович начал на Судостроительной фирме «Алмаз», с которой неразрывно связан вот уже 55 лет и куда поступил в 1968 г. в качестве ученика токаря. Без отрыва от производства в 1975 г. закончил Ленинградский судостроительный техникум, а в 1986 г. – Северо-Западный заочный политехнический институт.

Большие организаторские способности в сочетании с инженерными знаниями позволили Л. Г. Грабовцу в дальнейшем занять должность генерального директора, а с 2016 г. председателя Совета директоров двух заводов – ПАО «Судостроительная фирма «Алмаз» и АО «Морской завод «Алмаз».

Л. Г. Грабовец принимал личное участие в строительстве более ста кораблей и катеров для ВМФ и морских частей Пограничной службы России. Внес большой вклад в международное военное сотрудничество: под его руководством были успешно реализованы в 2001–2004 гг. контракты на поставку трех десантных кораблей на воздушной подушке «Зубр» для ВМС Греции; в 2002 и 2010 гг. четырех патрульных кораблей «Светляк» для ВМС Вьетнама; в 2007 г. четырех скоростных катеров для МЧС Азербайджана; в 2009 г. двух патрульных катеров «Соболь» для Туркменистана и в 2010 г. на поставку патрульного корабля «Светляк» для Словении.

Л.Г. ГРАБОВЦУ - 75 ЛЕТ

*С.Н. Галиченко, зам. ген. директора – директор по маркетингу
ПАО «СФ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 622 0335*



Под руководством Л. Г. Грабовца фирма «Алмаз» построила для Каспийской флотилии ВМФ России серию малых артиллерийских кораблей типа «Буян».

При непосредственном участии Л. Г. Грабовца в 2013 г. были заключены контракты на строительство девяти плавучих самоходных плавучих кранов пр. 02690 для ВМФ России. В 2015 г. был заключен новый контракт на строительство серии из пяти плавучих самоходных кранов этого же проекта. Все краны были переданы заказчику в срок. В 2019 г. заключен контракт на строительство еще пяти самоходных плавучих кранов. Также в этот период под руководством Л. Г. Грабовца заключены контракты на строительство серии из пяти кораблей пр. 22460 «Охотник», пр. 10410 «Светляк», пр. 22120 «Пурга» для Пограничной службы ФСБ России.

Все они сданы заказчику в установленные контрактом сроки.

За большой вклад в реализацию совместных проектов и привлечение инвестиционных средств в экономику Российской Федерации, а также за широкую благотворительную деятельность в 2013 г. Леонид Герасимович награжден орденом Дружбы. В 2021 г. за достижение высоких производственно-экономических показателей в промышленности, связанных с преимущественным использованием инновационных технологий в процессе производства, Леонид Герасимович награжден орденом Почета.

Л. Г. Грабовец также награжден многими другими правительственными наградами, медалями и памятными знаками, в том числе медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени. А за участие в создании головного РК «Молния» (1998) Л. Г. Грабовцу присуждена Государственная премия Правительства РФ.

Сегодня Леонид Герасимович много делает как вице-президент Ассоциации промышленных предприятий, член Ассоциации судостроителей Санкт-Петербурга и Совета Торгово-Промышленной палаты города. Он – действительный член Морского Собрания и член Морского совета при губернаторе Санкт-Петербурга.

Коллектив «Судостроительной фирмы «Алмаз» сердечно поздравляет Леонида Герасимовича с 75-летием и желает ему крепкого здоровья, творческого долголетия и больших успехов в работе на благо процветания нашей Родины!

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают Л.Г. Грабовцу благополучия и новых производственных достижений. ■



Морской Вестник



№ 3 (87)
сентябрь
2023

Morskoy Vestnik

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

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. Турчин, ректор СПбГМТУ

Члены совета:

А.А. Асланян, генеральный директор АО «НПФ «Меридиан»

А.А. Веселов, генеральный директор АО «Адмиралтейские верфи»

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

В.Э. Гель, генеральный директор АО «УК «Радиостандарт»

К.Г. Голубев, генеральный директор АО «ЦМКБ «Алмаз»

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»

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»

И.Е. Маренич, генеральный директор АО «Ситроникс КТ»

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

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

О.А. Остапко, генеральный директор АО «Северное ПКБ»

А.А. Павлов, генеральный директор АО «НТИ «Радиосвязь»

Д.А. Посадов, врио генерального директора АО КБ «Вымпел»

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»

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

СОДЕРЖАНИЕ

Л. Г. Грабовицу – 75 лет 1

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

В. П. Кеонджан, В. В. Чугунов, И. В. Щербаков. О необходимости создания судов нового поколения для обеспечения морской транспортной системы северного завоза 7

С.А. Итальянцев, К.Е. Рыпалов. Высокоскоростные суда с воздушной каверной для решения транспортных задач 10

А. Н. Пономарев, А. В. Юрканский, Г. П. Аннушко. Учет влияния волнообразования на управляемость подводного технического средства в надводном положении 14

Г. А. Турчину – 60 лет 19

А. Р. Вьюшкин. Обновление пассажирского флота 22

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. М. Вихров. Канонерскому судоремонтному заводу – 140 лет 27

И. М. Мухутдинов. К 90-летию ПАО «Судостроительная фирма «Алмаз» 31

А. А. Веселов, К. С. Рогозина. Разработка автоматизированной информационной системы подготовки трубообрабатывающего производства на основе функциональных процессов и нормативов трудоемкости 41

А. Е. Васильев, В. Д. Ковалёв, Д. Е. Кузгурцев, С. А. Токаренко, А. В. Шерстнёв. Учебно-тренажерные средства автоматизированной генерации управляющих программ для оборудования с ЧПУ 43

На Средне-Невском судостроительном заводе заложен корабль противоминной обороны «Дмитрий Лысов» 47

В. С. Татарскому – 80 лет 49

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Л. Г. Кузнецов, А. В. Бураков, Р. И. Демидюк, В. С. Канев, С. Ю. Титова, Д. В. Балакишина. Судовые инсинераторы для кораблей ВМФ и гражданского флота 51

В. Г. Кирикова, А. А. Иванов, И. А. Сорокин. Сравнительный анализ систем охлаждения главного конденсатора на атомных подводных лодках и аппаратах 54

А. А. Борискин. Беспоршневая пневмогидравлическая пусковая установка для постановки малогабаритных изделий 57

Ю. А. Лебедев. Анализ особенностей приводов рулевых машин роторного типа 61

А. Е. Васильев, А. В. Вегнер, Д. Е. Голубева, В. А. Карпенко, В. Д. Ковалев. Прикладные аспекты разработки средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов 64

А. М. Белов, В. В. Кожемякин. Создание модели и расчетной сетки для твердотопливного топливного элемента с активной площадью 25 см² 66



ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

- Б. Ю. Семёнов, Д. В. Чуйко.** Технологические аспекты проектирования эффективных корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей..... 71
- С. А. Агеев, А. В. Богданов, А. А. Павлов.** Метод адаптивной фильтрации сигналов в узкополосных непрерывных каналах связи коротковолнового диапазона 75
- А. А. Камшилин, А. В. Новиков, А. А. Бармин, С. А. Наумов.** Импорт-замещение в радиоэлектронной промышленности. Практика создания отечественных высокочастотных генераторных модулей..... 79

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

- Д. В. Казунин, В. В. Рыбий.** Навигационный тренажер для подготовки специалистов автономного судовождения на основе технологий дополненной и виртуальной реальности 83
- О. Г. Мальцев.** Использование результатов распознавания типов морских источников радиоизлучения при отождествлении их пеленгов..... 88
- П. К. Смирнов, Е. А. Черкашин.** Точность и совершенство: опыт применения электроприводов, 3D-печати и прототипирования сигналов при создании системы управления глубоководным манипуляторным устройством МГМ-7..... 93
- В. Э. Гель, В. Н. Сучков, Ф. А. Скорик.** Применение программного комплекса формирования моделей графических и текстовых документов по связи при подготовке специалистов ВМФ России..... 98
- А. А. Катанович.** Повышение эффективности оптического канала связи с подводной лодкой за счет лучшего прохождения его через ослабляющие участки трассы 102
- А. А. Силкин, Е. Р. Романов, М. В. Чупаков, В. А. Кучеренко.** Контроль зависания БПЛА для автоматической посадки на передвижную платформу корабля..... 105
- И. А. Полковников, Л. В. Воробьев.** Методика оптимизации распределения буферной памяти при обслуживании разнородных потоков информации..... 109

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ И ФЛОТА

- Г. А. Гребенщикова, В. С. Никитин, В. Н. Илюхин.** Роль и значение экспедиции подводных работ особого назначения в развитии судоподъемного, водолазного и спасательного дела России. К 100-летию ЭПРОН. Часть 2 114
- В. Н. Половинкин, С. В. Федулов.** Буксировка железнодорожных цистерн по Ладожскому озеру в условиях блокадного Ленинграда..... 119
- О. В. Третьяков, Д. Ю. Литинский.** Проектирование, строительство, испытания и эксплуатация надводных кораблей первого поколения ВМС НОАК. Часть 1 123

В МОРСКОМ СОБРАНИИ

- И. А. Лещенко.** 54-я Ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания.... 125

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, доцент

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

А. И. Гайкович, д-р техн. наук, проф.

Е. А. Горин, д-р эконом. наук, проф.

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 500 экз. Заказ № 1163

Дата выхода в свет – 11.09.2023

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

Морской Вестник

№ 3 (87)

September

2023

Morskoy Vestnik

SCIENTIFIC, ENGINEERING, INFORMATION AND ANALYTIC MAGAZINE



Editorial Council

Co-chairman:

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

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

V.S. Nikitin,

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

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

A.A. Aslanyan, General Director
JSC RPF Meridian

V.Yu. Dorofeev, General Director
JSC SPMD Malachite

V.V. Dudarenko, General Director
JSC Sudpromkomplekt

S.G. Filimonov, General Director
JSC Concern Morflot

V.E. Gel, General Director JSC MC Radiostandart

K.G. Golubev, General Director JSC Almaz CMDB

S.N. Iryutin, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

M.V. Ispolov, Director JSC CRIME

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

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 Armatit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

I.E. Marenich, General Director

JSC Sitronics KT

I.M. Mukhutdinov, General Director

JSC Almaz Shipbuilding Company

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

O.A. Ostapko, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

A.A. Pavlov, General Director JSC NTI Radiosvyaz

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

E.A. Rylov, General Director JSC PKB RIO

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Avrora

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

A.A. Veselov, General Director

JSC Admiralty Shipyards

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pumori-north-west

ABSTRACTS

L. G. Grabovets – 75 years old 1

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

V. P. Keondzhan, V. V. Chugunov, I. V. Shcherbakov. *On the need to create a new generation of ships to ensure the maritime transport system of the Northern Delivery* 7

S. A. Ital'yantsev, K. E. Rypalov. *High-speed vessels with an air cavity for solving transport problems* 10

A. N. Ponomarev, A. V. Yurkansky, G. P. Annushko. *Accounting for the influence of wave formation on the controllability of an underwater technical facility in a surface position* 14

G. A. Turichin – 60 years old 19

A. R. Vyushkin. *Renewal of the passenger fleet* 22

TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

N. M. Vikhrov. *Kanonersky ship repair plant is 140 years old* 27

I. M. Mukhutdinov. *To the 90th anniversary of Almaz Shipbuilding Company JSC* 31

A. A. Veselov, K. S. Rogozina. *Development of an automated information system for the preparation of pipe-working production based on functional processes and labor intensity standards* 41

A. E. Vasil'ev, V. D. Kovalyov, D. E. Kungurtsev, S. A. Tokarenko, A. V. Sherstnyov. *Training tools the CNC-programs auto generation* 43

Mine defense ship «Dmitry Lysov» was laid down at the Sredne-Nevisky Shipyard 47

V. S. Tatarsky – 80 years old 49

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

L. G. Kuznetsov, A. V. Burakov, R. I. Demidyuk, V. S. Kanev, S. Yu. Titova, D. V. Balakshina. *Ship incinerators for ships of the Navy and civil fleet* 51

V. G. Kirikova, A. A. Ivanov, I. A. Sorokin. *Comparative analysis of cooling systems of the main condenser on nuclear submarines and vehicles* 54

A. A. Boriskin. *Pistonless pneumohydraulic launcher for placing small items* 57

Yu. A. Lebedev. *Analysis of the features of drives of steering gear rotary type* 61

A. E. Vasil'ev, A. V. Wegner, D. E. Golubeva, V. A. Karpenko, V. D. Kovalev. *Applied aspects of the tools development for the ship shaftings internal surface diagnostics* 64

A. M. Belov, V. V. Kozhemyakin. *Creation of a model and computational grid for solid polymer fuel element with an active area of 25 cm²* 66



DESIGN AND TECHNOLOGY OF INSTRUMENT MAKING AND RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

- B. Yu. Semenov, D. V. Chuiko.** Technological aspects of designing effective ship systems for compensation of low-frequency electromagnetic fields 71
- S. A. Ageev, A. V. Bogdanov, A. A. Pavlov.** The method of adaptive filtering of signals in narrow-band continuous communication channels of the short-wave range 75
- A. A. Kamshilin, A. V. Novikov, A. A. Barmin, S. A. Naumov.** Import substitution in the radio-electronic industry. The practice of creating domestic high-frequency generator modules 79

INFORMATION-MEASURING AND MANAGEMENT SYSTEMS

- D. V. Kazunin, V. V. Ryby.** Navigation simulator for training autonomous navigation specialists based on augmented and virtual reality technologies 83
- O. G. Mal'tsev.** Use of results of recognition of types of sea radio emission sources on a association their bearings 88
- P. K. Smirnov, E. A. Cherkashin.** Accuracy and perfection: experience in the use of electric drives, 3D printing and signal prototyping in the creation of a control system for the MGM-7 deep-sea manipulator 93
- V. E. Gel', V. N. Suchkov, F. A. Skorik.** Application of a software complex for the formation of models of graphic and text documents for communications in the training of specialists of the Russian Navy 98
- A. A. Katanovich.** Increasing the efficiency of the optical communication channel with the submarine due to its better passage through the wakening sections of the route 102
- A. A. Silkin, E. R. Romanov, M. V. Chupakov, V. A. Kucherenko.** Hanging control for automatic UAV landing on ship mobile platform 105
- I. A. Polkovnikov, L. V. Vorob'yov.** A technique for optimizing the allocation of buffer memory when servicing heterogeneous information flows 109

THE HISTORY OF SHIPBUILDING AND FLEET

- G. A. Grebenshchikova, V. S. Nikitin, V. N. Ilyukhin.** The role and significance of the expedition of special underwater works in the development of ship-lifting, diving and rescue business in Russia. To the 100th anniversary of EPRON. Part 2 114
- O. V. Tret'yakov, D. Yu. Litinsky.** Design, construction, testing and operation of surface ships of the first generation of the PLA Navy. Part 1 119
- V. N. Polovinkin, S. V. Fedulov.** Towing of railway tanks on Lake Ladoga in the conditions of besieged Leningrad 123

IN THE MARITIME ASSEMBLY

- I. A. Leshchenko.** 54th Assembly of the Saint-Petersburg Maritime Assembly 125

Editor-in-Chief

E. A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D. S. Glukhov

Phone: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G. N. Antonov, D. Sc., docent

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., Prof.

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 elektronaya biblioteka» www.elibrary.ru and is also included to the Russian index of scientific citing

By the decision of the Council of VAK the Morskoy Vestnik magazine is entered on the list of the leading scientific magazines and editions published in the Russian Federation where basic scientific outcomes of doctoral dissertations shall be published. www.perechen.vak2.ed.gov.ru

You can **subscribe to the Morskoy Vestnik** magazine using Russian Post Catalog «Subscription editions» (subscription index ПИМ 467) or directly at the editor's office via the Morvest Publishing House

Printed by Premium Press Printing House LLC

Printing house address 190020 St. Petersburg

Narvsky prospect, 18, letter A

Circulation 500. Order № 1163

Publication date – 11.09. 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

1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА

Руководством страны поставлена задача повысить объем грузоперевозок по Северному морскому пути и их эффективность. В целях реализации этой задачи Правительством РФ в августе 2022 г. был принят «План развития Северного морского пути на период до 2035 г.» (далее – План).

Одним из важных элементов перевозок по Севморпути является доставка грузов социального и промышленного назначения в районы Крайнего Севера – северный завоз. К вопросам повышения эффективности морской транспортной системы (МТС) северного завоза относятся обеспечение ее стабильности, регулярности и снижение издержек. На решение этих вопросов направлен, в том числе, ряд поручений из указанного Плана, а также поручений по результатам «Стратегической сессии правительства по развитию Севморпути», состоявшейся 6 июня 2023 г., которая предусматривает проектирование и строительство судов снабжения северного завоза нового поколения. Совершенствованию транспортно-логистической инфраструктуры северного завоза, в том числе строительству транспортных судов для его обеспечения было посвящено заседание Президиума Совета законодателей РФ при Федеральном Собрании, состоявшееся 21 июля 2023 г. и принятые на нем решения.

Указанные поручения и решения обусловлены тем, что в настоящее время северный завоз по Севморпути не в полной мере отвечает все возрастающим требованиям к его эффективности. Во многом это объясняется тем, что перевозки осуществляется без надлежащей координации судоходных компаний, морскими судами небольшой грузоподъемности, в основном от 3–5 до 10–15 тыс. т, ледового класса от Arc3 до Arc5, требующих ледокольного обеспечения в большом объеме. При этом возможности этого флота весьма ограничены из-за его возраста, количества и тоннажа. (Более 75% его состава эксплуатируется сверх нормативного срока, а судов дедвейтом более 10 тыс. т насчитывается ок. 25 ед., из них 6 ед. дедвейтом от 15 до 20 тыс.т и только 4 ед. – более 20 тыс. т).

Сухогрузных отечественных судов ледового класса Arc7, действующих в Арктической зоне, в настоящее время насчитывается только 5 ед. (принадлежат НК «Норильский никель»), и они лишь отчасти участвуют в северном завозе. Поэтому основная нагрузка ложится на суда ледового класса Arc4 и Arc5 с большим объемом ледокольного обеспечения в зимне-весеннюю навигацию.

Для реализации поставленных правительством задач необходимо прежде всего определить наиболее приемлемый типо-

О НЕОБХОДИМОСТИ СОЗДАНИЯ СУДОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ СЕВЕРНОГО ЗАВОЗА

В.П. Кеонджан, д-р физ.-мат. наук, проф., председатель совета директоров,
В.В. Чугунов, ген. директор, ООО «Арктические Морские Технологии»
И.В. Щербаков, ген. директор ООО «ПКБ «Петробалт»,
контакт. тел. (812) 644 5686



Рис. 1. Трассы проводки судов в зимне-весеннюю навигацию

размер таких судов, их грузоподъемность (или *DW*) и ледовый класс, а также оценить эффективность их использования. Количественная потребность в этих судах с учетом полученных результатов может быть определена, исходя из перспектив грузопотока северного завоза и других перевозок, а также возможностей судов существующего флота.

2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЛЕДОВОГО КЛАССА, ДЕДВЕЙТА И УНИВЕРСАЛИЗАЦИИ НОВЫХ СУДОВ

Анализ морских перевозок в рамках северного завоза, выполненных в 2021 г., показывает, что основная доля затрат на их реализацию приходится на фрахт ледокольного флота.

По данным ФАНУ «Востокгосплан», в 2021 г. с декабря по июнь (зимне-весенняя навигация) объем перевозок по линии северного завоза, выполненных судами ледового класса Arc4 и Arc5 в основном на трассе от Мурманска до портов Сабетта, Диксон и Харасавэй, составил ок. 1,0 млн. т (27% от всего годового объема в 3,7 млн. т). По нашим оценкам, это потребовало привлечения от 13 до 15 таких судов и выполнения ими ок. 150 круговых судово-рейсов (с/р) со средним расстоянием ок. 2000 миль. Для их проводки потребовалось привлечь от пяти до семи ледоколов (в основном атомных), которые в зависимости от количества судов в караване (два или три) под проводкой одного ледокола суммарно выполнили от 50 до 70 круговых с/р со средним расстоянием в

1000 миль (от Карских Ворот и/или мыса Желания и обратно, рис. 1).

Ориентировочные затраты на ледокольное обеспечение такого количества с/р оценивается от 3,3 до 5,0 млрд. руб., что составляет 75–80% от общих затрат на фрахт всех привлеченных в этот период судов и ледоколов (от 4,4 до 6,1 млрд. руб.).

Результаты расчетов наглядно указывают на необходимость снижения затрат на ледокольную проводку, что позволит значительно повысить экономическую составляющую северного завоза не только в зимне-весеннюю навигацию, но и в целом за весь навигационный период. (В навигацию 2021 г. они составили ок. 60–70% всех затрат).

Достичь этого можно за счет строительства новых судов ледового класса не ниже Arc7. Это подтверждает и опыт эксплуатации транспортных судов того же класса пр. SA-15 типа «Норильск», построенных в Финляндии в период с 1983 по 1984 г. в количестве 14 ед., и пр. 10620/21 типа «Витус Беринг» и «Иван Папанин», построенных в Херсоне в 1986 – 1992 гг. в количестве 8 ед. Находясь в составе Мурманского и Дальневосточного пароходств на протяжении более 30 лет, они показали высокую эффективность и внесли значительный вклад в обеспечение северного завоза.

С начала 90-х гг. и до 2008 г. судов этого ледового класса не строили. В 2008–2011 гг. НК «Норильский никель», в целях обеспечения прежде всего надежной транспортной составляющей реализа-

ции своей продукции, построил на верфях Финляндии и Германии пять грузовых судов класса Arc7. Благодаря особенностям проекта и движителю Aziprod они способны ходить во льдах толщиной до 1,8 м практически без сопровождения ледоколов, что позволило значительно снизить затраты «Норникеля» на фрахт ледоколов.

Приведенные примеры подтверждают, что для надежного и эффективного обеспечения МТС северного завоза необходимо строительство новых судов с ледовым классом не ниже Arc7, способных значительно расширить возможности их эксплуатации в зимне-весеннюю навигацию в основном без привлечения ледоколов. Такую необходимость подтверждает и глава Дирекции Севморпути госкорпорации «Росатом» Вячеслав Рукша, который на одном из недавних Арктических форумов отметил, что «Севморпуть нуждается в пяти-семи, а лучше в 10-12 ледокольных судах снабжения, которые могли бы освободить атомоходы от непроизводительной работы и позволить им решать первоочередные задачи экспортных перевозок...».

Важными факторами, влияющими на эффективность морской транспортной системы (МТС) северного завоза, являются также оптимальный дедвейт таких судов и их универсальность, т.е. способность перевозить различные виды грузов, таких как контейнеры, крупногабаритные и тяжеловесные, накатную технику, уголь, а также жидкие грузы, включая топливо и воду.

По данным ФАНУ «Востокгосплан», в 2021 г. ок. 70% от общего объема перевезенных грузов доставили суда дедвейтом более 10 тыс. т, еще около 15% пришлось на суда дедвейтом от 5 до 10 тыс. т. При этом средняя загрузка судов относительно их дедвейта составляла только ок. 60%. Учитывая такой процент загрузки, рейсы этих судов, как правило, осуществляются только в один из портов Севморпути. Повышение дедвейта до 20–25 тыс. т позволит судну выполнить за один рейс заходы в два-три порта, а также упростит возможность транспортировки различных видов грузов в трюме и на палубе, что значительно повысит эффективность перевозок. Кроме того, учитывая все большую ориентацию перевозок социальных видов грузов в контейнерах, такое судно должно быть ориентировано именно на их транспортировку. Это значительно ускорит погрузочно-разгрузочные работы и оборачиваемость судов, что также скажется на повышении их эффективности.

3. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО СОЗДАНИЮ НОВОГО ТИПА УНИВЕРСАЛЬНОГО СУДНА СНАБЖЕНИЯ

В качестве предложения по повышению эффективности существующей



Рис. 2. Общий вид Судна

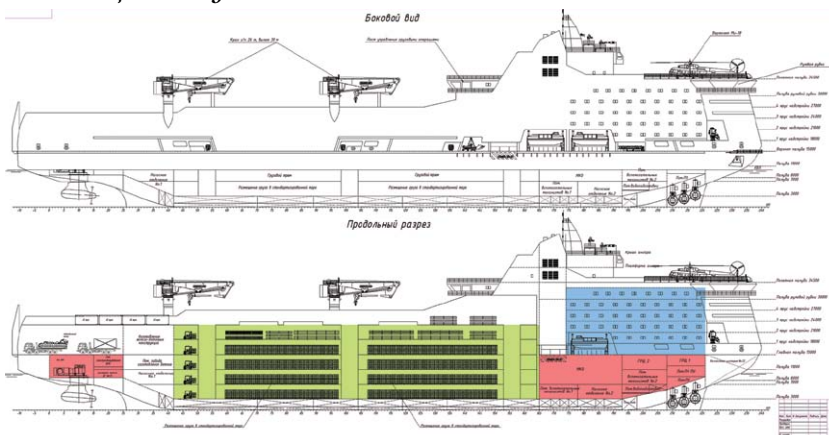


Рис. 3. Продольный разрез Судна

Технические характеристики Судна

Таблица

Класс PC	KM Arc 7 1 AUT1-ICS OMBO FF1WS ANTI-ICE ECO HELIDECK-H Winterization(-40)
Длина наибольшая, м	190
Ширина, м	32
Высота борта на миделе, м	15
Осадка по КВЛ, м	Ок. 9,0
Водоизмещение по КВЛ, т	Ок. 45 000
Дедвейт, т	Ок. 25 000
Объем грузовых трюмов, м ³	35 000
Количество контейнеров 20 TEU, шт	До 1000 (при переоборудовании трюмного пространства)
Объем топлива для снабжения, м ³	4000
Площадь автомобильного ангара, м ²	660

МТС северного завоза ООО «Арктические Морские Технологии» и ПКБ «Петробалт» разработали Концепцию проекта такого Судна. На рис. 2 и рис. 3 представлены его общий вид, продольный разрез, ниже приведены его основные характеристики (см. таблицу).

За счет модульной компоновки трюмного пространства судно может использоваться на Севморпути как снабженец, для перевозки грузов социального и промышленного назначения практически круглый год, причем значительную часть (до 75–80%) зимне-весенней навигации без привлечения ледоколов, что крайне важно для равномерного и надежного обеспечения северного завоза, в том числе строительных работ на инфраструктурных объектах арктического и дальневосточного побережья.

Возможности модификации грузового пространства позволяют перевозить до 1000 TEU в трюме и до 120 TEU на палубе, а также:

- бесперебойно снабжать строящиеся береговые объекты, базы и поселения, расходными технологическими и строительными материалами (трубами, цементом, железобетонными изделиями и т.п.);
- снабжать населенные пункты и строящиеся объекты топливом и другими ГСМ, а также питьевой водой и продовольствием;
- осуществлять прием, хранение и возможную утилизацию бытовых и промышленных отходов.

Кроме того, при небольшой модификации трюмного пространства судно может выполнять функции плавучей

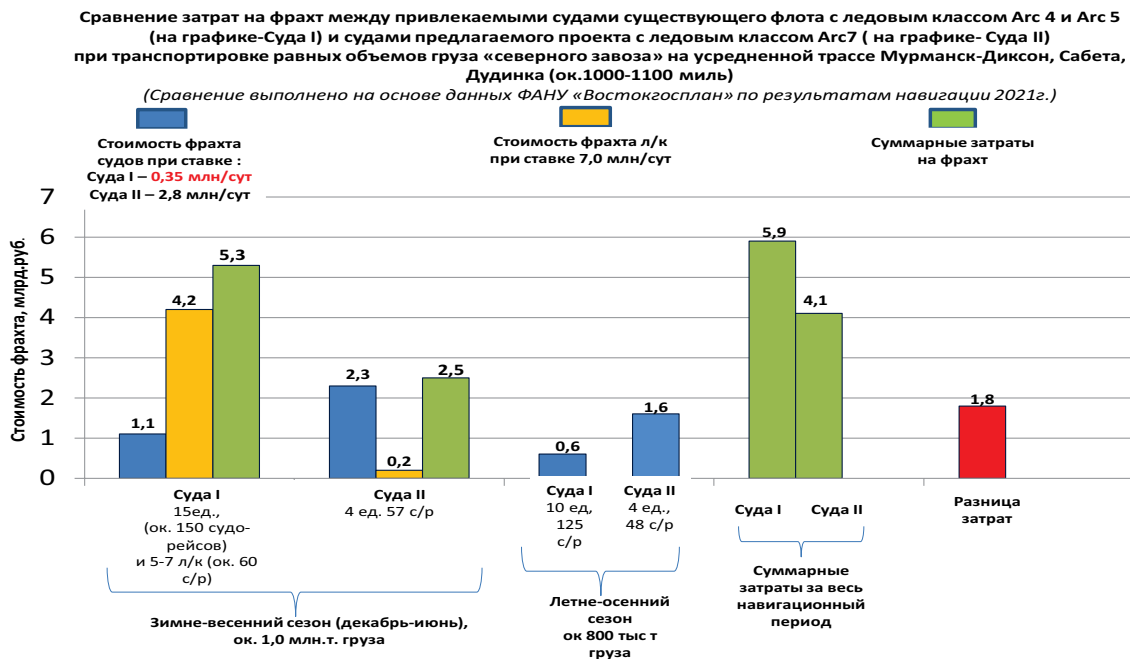


Рис. 4. Усредненные затраты на фрахт существующих судов при ставке 0,7 млн. руб./сут.

базы обеспечения буровых работ на арктическом шельфе для снабжения ПБУ в течение всего бурового сезона и ее ледовой защиты в рамках системы УЛО.

Высокий ледовый класс позволит таким Судам значительно расширить навигационное окно в Арктике, а оригинальное обустройство трюмного пространства – создать оптимальные технологии доставки грузов по линии северного завоза и обеспечения строительных работ на объектах арктического побережья, а при необходимости и буровых работ на шельфе.

Все указанные возможности будут способствовать значительному повышению общей эффективности МТС и снижению общих (суммарных) затрат по сравнению с затратами при кратковременном, сезонном, использовании большого количества судов существующего малотоннажного флота с низким ледовым классом. Это касается прежде всего стоимости суммарного фрахта таких Судов и ледоколов.

4. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУДОВ ПРЕДЛАГАЕМОГО ПРОЕКТА, ИХ ОКУПАЕМОСТИ И ВОЗМОЖНОСТИ ПОСТРОЙКИ

Для оценки экономической эффективности использования рассматриваемых судов была проведена оценка их возможностей по транспортировке грузов северного завоза по сравнению с судами существующего флота, привлекаемыми для этой цели в навигацию 2021 г. Сравнение проводилось, в том числе, по эффективности перевозок в зимне-весенний и летне-осенний сезоны. (Оценка выполнялась на основе данных ФАНУ «Востокгосплан» об объеме перевезенного груза и составе флота в эту навигацию).

Выполненные расчеты показали, что за полную круглогодичную навигацию 2021 г. использование *четырёх Судов* (при их средней фрахтовой ставке 2,8 млн. руб./сут.) по сравнению судами привлекаемого флота со средней, очень низкой, фрахтовой ставкой в 0,35 млн. руб./сут., позволило бы сэкономить *ок. 1,8 млрд. руб.* (рис. 4). В случае применения для этих судов более реальной фрахтовой ставки в 0,7 млн. руб./сут. экономия могла составить *ок. 3,4 млрд. руб.*

Оценка окупаемости судов предлагаемого проекта проводилась на основе:

- ориентировочной строительной стоимости – ок. 18 млрд. руб.,
- льготных условий финансирования (аналогичных условиям, рекомендованных правительством для постройки атомных ледоколов),
- нескольких вариантов фрахтовых ставок в зимне-весенний период (от 2,8 до 5,6 млн. руб./сут.).

При таких принятых условиях окупаемость одного такого Судна может занимать от 12 до 24 лет.

Ориентировочная строительная стоимость Судна на стадии разработки концепции проекта определялась на основе использования в максимальном объеме отечественного комплексного оборудования, прежде всего главной энергетической установки, пропульсивного комплекса, судового радиоэлектронного оборудования, информационно-управляющих и интегрированных систем управления. Также в рамках проекта была рассмотрена и учтена возможность использования доступного иностранного оборудования, не имеющего аналогов российского производства.

Поскольку тоннаж предлагаемых судов составит около 20–25 тыс. т, постро-

ить их в ближайшие два-три года могут только несколько российских предприятий – Северная верфь, Адмиралтейские верфи и Балтийский завод. Конкретный исполнитель может быть определен после окончания проектирования с учетом их загрузки на этот период.

ВЫВОДЫ

Выполненные предварительные расчеты показывают, что создание флота из четырех-пяти судов предлагаемой концепции могут с успехом заменить от 10 до 15 Судов существующего возрастного флота дедвейтом до 10-15 тыс. т. и ледовым классом до Arc5, при этом значительно повысить эффективность МТС северного завоза, обеспечив ее стабильность, регулярность и снижение издержек. Кроме того, их использование позволит значительно уменьшить количество судорейсов на трассе Севморпути, что повысит безопасность мореплавания, а также освободит в зимне-весенний период атомоходы от непроизводительной работы и позволит им решать первоочередные задачи по обеспечению экспортных перевозок.

Необходимо отметить, что выполненные расчеты эффективности Судов предлагаемой концепции основаны на частично оценочных данных о фрахтовых ставках мсуществующего флота и периодах фрахта ледоколов.

Для более точных расчетов и оценки реально необходимого количества таких Судов с учетом существующего флота и динамики изменения объема перевозок северного завоза необходимо выполнить дополнительные исследования на основе более полных указанных выше данных, а также данных об изменениях грузовой базы и возможностях мсуществующего флота с учетом его возраста и ледового класса. ■

В процессе эксплуатации машин материалы подвергаются воздействию различных по величине нагрузок, возникающих в процессе плановых заданий либо других обстоятельств. Поэтому для обеспечения надежной эксплуатации необходимо уметь прогнозировать изменения эксплуатационных характеристик, как многоцикловых, по изменению предела выносливости материала, так и малоцикловых, или повторно-статических, в условиях повторно-переменного силового и температурного нагружения.

АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» с 80-х гг. ведет интенсивные работы в области глиссирующих судов с воздушной каверной (воздушная «смазка») на днище (СВК). Основная идея достаточно проста: снижение сопротивления трения судна достигается за счет создания воздушной прослойки между днищем и водой. Поскольку вязкость воздуха значительно меньше вязкости воды, гидродинамическое сопротивление судна снижается до 30%. Энергетические затраты на создание воздушной смазки не превышают 3% от общей мощности энергетической установки. Экономическая эффективность судов такого типа выражается в снижении расходов топлива, увеличении скорости и сокращении времени прибытия в пункт назначения, а также в относительной, по сравнению с судами на подводных крыльях, простоте конструкции и связанных с этим уровнем строительных и эксплуатационных расходов.

Основными важнейшими преимуществами судов данного типа являются высокая скорость, возможность эксплуатации на мелководье и отсутствие необходимости береговой инфраструктуры. Отсутствие выступающих частей, таких как у судов на подводных крыльях, и малая осадка делают возможным эксплуатацию СВК в мелководных районах. Скоростные СВК успешно эксплуатируются на морских и внутренних водных бассейнах.

В течение 80–90-х гг. в АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» разработаны проекты пассажирских судов со скоростями до 30 уз (55–60 км/ч), пассажироместностью до 120 человек и грузовые со скоростями 30 уз и более, грузоподъемностью до 120 т. Кроме коммерческих судов также созданы суда для нужд ВМФ, катера водоизмещением 100 т и скоростью 50 уз для Таможенной и Пограничной служб России.

В отличие от судов с динамическим принципом поддержания (СВП, СПК и экранопланов) этот способ не требует большого объема наукоемких научно-исследовательских работ

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СУДА С ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНОЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАДАЧ

С.А. Итальянцев, ген. директор,
К.Е. Рыпалов, зам. гл. конструктора скоростных судов –
начальник отдела,
АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева»,
контакт. тел. (831) 229 1490

и сложных конструктивных решений, а также больших энергозатрат на создание воздушной каверны. Тем не менее для достижения эффективности на скоростях движения в диапазоне чисел Фруда $Fr = 1,5 \div 5,0$ необходимо для каждого проекта проводить определенный объем экспериментально-расчетных исследований, в том числе проведение испытаний масштабных моделей в гидродинамическом канале.

Сущность данного принципа движения заключается в создании под днищем судна за счет специальной профилировки днищевых обводов, искусственной воздушной каверны с избыточным давлением, которая изолирует большую часть днища от контакта с водой, чем достигается значительное снижение сопротивления движению судна за счет уменьшения смоченных поверхностей (рис. 1).

На рис. 2 показаны обводы днищевой части масштабной модели судна для создания воздушной каверны (модель перевернута вверх килем).

Применение воздушной «смазки» позволяет значительно улучшить гидродинамические характеристики скоростных судов, в частности, повысить гидродинамическое качество на эксплуатационных скоростях движения на 20–25% (рис. 3).

Актуальным для укрепления экономики страны и решения военных задач является наличие в военно-морском флоте высокоскоростных судов для оперативной доставки и высадки десанта, доставки грузов, решения специальных задач.

В 1982 г. АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» начало разработку быстроходного десантного катера пр. 11770 «Серна» (рис. 4). Катер предназначен для высадки на необорудованный берег боевой и вспомогательной гусеничной и колесной техники, а также передовых подразделений десанта. Характеристики катера «Серна»: водоизмещение – 105 т, скорость – 30 уз и грузоподъемность – 45 т.

Высокая скорость катера обеспечивается благодаря наличию воздушной каверны, мощных дизелей и движительно-рулевого комплекса (ДРК). ДРК расположен по бортам катера и состоит из вентилируемого водометного движителя (ВВД) и рулевого устройства.

ВВД (рис. 5) работает вблизи свободной поверхности воды, и его элементы имеют постоянный контакт с атмосферным воздухом. Это обеспечивает большую стабильность работы ВД, уменьшает сопротивление выступающих частей и позволяет из-

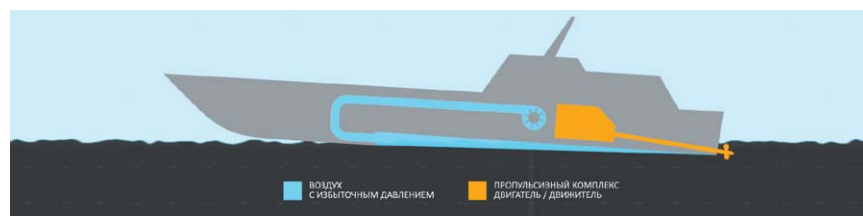


Рис. 1. Схема работы каверны



Рис. 2. Обводы днищевой части модели судна для создания воздушной каверны

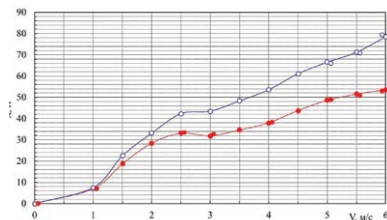


Рис. 3. Сравнительный график сопротивления корпуса модели с поддувом воздуха (красный) и без поддува (синий)

бавиться от спрямляющего и соплового аппаратов.

В 1993 г. АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» начало разработку пограничного сторожевого катера пр. 14230 «Сокжой» (рис. 6).

Катер предназначен для охраны территориальных и внутренних морских вод и морских природных ресурсов, обеспечения безопасности национального морского судоходства и охраны портов, противодействия проявлениям терроризма и незаконному обороту наркотиков и оружия. Водоизмещение катера – 105 т, скорость – 50 уз.

В 1994 г. АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» начало разработку морского таможенного катера пр. 14232 «Меркурий» (рис. 7). Катер предназначен для круглогодичной охраны таможенных границ на незамерзающих акваториях морей и в устьях рек. Водоизмещение катера – 105 т, скорость – 50 уз.

В начале 2000-х гг. АО «ЦКБ по СПК им. Р. Е. Алексеева» разрабо-



Рис. 4. Скоростной десантный катер пр. 11770 «Серна»

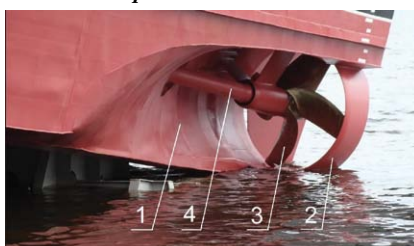


Рис. 5. Вентилируемый водометный движитель катера «Серна»: 1 – водозаборник, 2 – кольцевая насадка, 3 – гребной винт, 4 – гребной вал

тало проект транспортно-десантного катера с воздушной каверной (СВК) пр. 21820 «Дюгонь» (рис. 8). В 2006 г. начался выпуск серии новейших российских десантных катеров с воздушной каверной на днище по данному проекту. Они предназначены для скоростной доставки и высадки на необорудованный берег гусеничной и колесной техники, людских контингентов общей массой до 120 т, обеспечения материально-технического снабжения производственных и других струк-



Рис. 6. Пограничный сторожевой катер пр. 14230 «Сокжой»



Рис. 7. Морской таможенный катер пр. 14232 «Меркурий»



Рис. 8. Транспортно-десантный катер с воздушной каверной пр. 21820 «Дюгонь»



Рис. 9. Речной мелкосидящий теплоход пр. 14200 «Линда»



Рис. 10. Пассажирское судно с воздушной каверной проекта «СВК-ЕСО»

сажирские и грузовые суда. Одним из таких судов является речной мелкосидящий теплоход пр. 14200 «Линда», проектирование которого началось в 1989 г. (рис. 9).

Судно предназначено для скоростных перевозок пассажиров по судходным рекам и пресноводным водохранилищам в районах с умеренным климатом. Не требует береговых причальных средств. Его водоизмещение – 24,6 т, скорость – 55 км/ч, пассажироместность – 70 человек.

Эксплуатация пассажирских, грузовых и специальных СВК, разработанных в АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева», подтвердила их высокую эффективность при эксплуатации. К основным достоинствам этих судов относят:

- высокую скорость;
- малую осадку;
- защищенность движительно-рулевого комплекса (ДРК);
- наличие носового аппарельного устройства, обеспечивающего возможность посадки-высадки пассажиров, груза, гусеничной и колесной техники с/на необорудованного побережья;
- возможность приема-выгрузки грузов с помощью судового грузового устройства с оборудованного и необорудованного побережья;
- возможность приема-высадки людей с/на оборудованного побережья;
- погрузка с оборудованного или необорудованного побережья колесно-гусеничной техники, контейнеров и другой техники с помощью крана, расположенного на оборудованном или необорудованном побережье.

Эти достоинства особенно актуальны при эксплуатации в морских прибрежных районах, где недостаточно оборудованных портов и причальных пунктов, а также на магистральных, боковых и малых реках, где нерегулярно выполняются дноуглубительные работы и недостаточно причальных пунктов.

В начале XXI в. была сформирована задача развития Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации. Социально-экономическое развитие этого региона является без преувеличения стратегической задачей, основой будущего благополучия России и ее граждан. Долгосрочные интересы страны определяют важнейшую роль огромных восточных территорий страны в ее развитии, благодаря наличию значительного ресурсного потенциала.

Один из ключевых факторов обеспечения роста экономики Сибири и Дальнего Востока – развитие транспортного комплекса, важнейшей частью

тур, выполнения транспортных задач во время спасательных операций. Водоизмещение катера – 310 т, скорость – 40 уз, грузоподъемность – 120 т.

В последние годы стало очевидно, что современный военно-морской

флот нуждается в более скоростных судах, обладающих значительной десантностью и грузоподъемностью.

Кроме судов специального назначения, АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева» создавало и гражданские пас-

которого является водный транспорт. Водные сообщения – это решающий фактор сохранения культурных связей районов, приречных населенных пунктов, их развития и коммуникации.

Скоростной пассажирский внутренний водный транспорт останется важнейшим видом сообщений для огромных территорий, расположенных в бассейнах всех основных сибирских рек. В условиях рыночной экономики пассажирское сообщение в ряде случаев определяет саму возможность существования населенного пункта. Включение в хозяйственный оборот новых территорий промышленного освоения полезных ископаемых должно сопровождаться расширением судоходства по рекам Сибири и Дальнего Востока, а также их притокам, в том числе осуществлением пассажирских перевозок между населенными пунктами, которые создаются на берегах.

Скоростные перевозки пассажиров на внутреннем водном транспорте Сибири и Дальнего Востока – это социально значимые перевозки для удовлетворения жизненно важных потребностей населения региона.

Актуальным для укрепления экономики страны и решения задач пассажирских и грузовых перевозок является наличие в речном флоте высокоскоростных судов для оперативной доставки и высадки пассажиров, грузов, решения специальных задач. Поэтому необходимо создание грузопассажирских СВК нового поколения, так как находящиеся в настоящее время в эксплуатации суда не удовлетворяют современным требованиям ни по пассажироместимости и грузоподъемности, ни по экономической эффективности в связи с ростом стоимости топлива и срокам окупаемости судна, ни по уровню комфорта на борту и снижению времени нахождения в пути.

В разрабатываемых проектах данных судов предусмотрено применение современного комплектующего оборудования и материалов отечественного и зарубежного производства, включая системы автоматизации, навигации, связи, дельные вещи, конструкционные, теплозвукоизоляционные, лакокрасочные материалы.

Сегодня АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева» ведет работы по созданию высокоскоростных судов нового поколения для военного и гражданского флотов России. На основе накопленного опыта и выполненных исследований могут быть созданы морские и речные суда и катера с воздушной каверной на днище, в том числе пассажирские, грузопассажирские и специальные пассажироместимостью до 250 человек, грузоподъемность до 180 т и скоростью до 50 уз.



Рис. 11. Морское грузопассажирское судно с воздушной каверной на днище пр. 23220 «СВК-10»



Рис. 12. Морское грузопассажирское судно с воздушной каверной на днище пр. 23210 «СВК-100»



Рис. 13. Морское пассажирское судно с воздушной каверной на днище «Сивуч» пр. 04480

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ АО «ЦКБ ПО СПК ИМ. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

Одна из таких разработок – пассажирское судно с воздушной каверной на днище «СВК-ЕСО» с главной энергетической установкой, работающей

на природном газе (рис. 10) водоизмещением – 35 т, скоростью – 65 км/ч, пассажироместимостью – 70 человек.

Еще одна разработка – «СВК-10» пр. 23220, морское грузопассажирское судно с воздушной каверной

на днище (рис. 11) водоизмещением 100 т, скоростью 35 уз, пассажироместимостью 100 человек, грузоподъемностью 9 т.

«СВК-100» пр. 23210 – морское грузопассажирское судно с воздушной каверной на днище (рис. 12) водоизмещением 272 т, скоростью 50 уз, пассажироместимостью 120 человек, грузоподъемностью 72 т.

«Сивуч» пр. 04480 – морское пассажирское судно с воздушной каверной на днище (рис. 13) водоизмещением 100 т, скоростью 32 уз, пассажироместимостью 100 человек.

«СВК-1200» – морской паром для перевозки пассажиров и автомобилей (рис. 14) водоизмещением 1200 т, скоростью 30 уз, пассажироместимостью 150 человек и автомобилеместимостью 30 шт. ■



Рис. 14. Морской паром для перевозки пассажиров и автомобилей «СВК-1200»

ВВЕДЕНИЕ

Большое количество экспериментальных и особенно натурных данных показывает, что маневренные характеристики надводных водоизмещающих судов зависят от скорости хода, точнее от числа Фруда. С увеличением скорости хода и при неизменном угле перекаладки руля диаметр циркуляции изменяется (увеличивается или уменьшается). Причина такого влияния скорости хода на параметры управляемости заключается в изменении волнового профиля воды, создаваемого корпусом (особенно в районе носовой оконечности). Меняющийся волновой профиль приводит к изменению конфигурации подводной части корпуса, меняется осадка судна, нарастает ходовой дифферент и, как следствие, гидродинамические характеристики корпуса тоже изменяются, что соответственно влияет на маневренные характеристики. Изменение волнового профиля с увеличением скорости хода (числа Фруда) – известный факт, и во многих справочниках этот вопрос изложен [2].

Не являются исключением в этом плане и подводные технические средства (ПТС) в надводном положении (подводные аппараты различных классов), имеющие форму корпуса, близкую к телу вращения, кормовое оперение и надводный борт высотой не менее 15–20% высоты корпуса. При движении ПТС, вдоль корпуса, особенно в районе носовой оконечности происходит подъем воды, который может доходить до верхней части корпуса, получается, что ПТС как бы «зарывается» носом. Волновой профиль в районе носовой оконечности хорошо виден на фотографиях, представленных на рис. 1.

Расчетные методики (формулы, критерии или количественные рекомендации), позволяющие количественно учесть влияние скорости хода на параметры управляемости ПТС в надводном положении, на данный момент отсутствуют. Единственный достоверный путь – это проведение модельных испытаний, по результатам которых можно определить влияние скорости хода (числа Фруда) на параметры управляемости ПТС в надводном положении. Как отмечалось выше, для над-

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВОЛНООБРАЗОВАНИЯ НА УПРАВЛЯЕМОСТЬ ПОДВОДНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА В НАДВОДНОМ ПОЛОЖЕНИИ

*А.Н. Пономарев, канд. техн. наук, начальник группы,
А.В. Юрканский, канд. техн. наук, начальник сектора,
Г.П. Аннушко, конструктор 2-й категории высшей квалификации,
АО ЦКБ «МТ «Рубин»,
контакт. тел. +7 (911) 942 4475*



Рис. 1. Волновой профиль различных ПТС в надводном положении: а – ПТС *Idex* (Франция), б – ПТС *S201* (США)

водных водоизмещающих судов определение влияния уже рассмотрено, но предложенный подход применить для ПТС не представляется возможным. Основные причины этого заключаются в следующем:

а) форма волнового профиля определяется формой корпуса (в первую очередь носовой оконечностью). То, что форма носовой оконечности надводных водоизмещающих судов сильно отличается от формы носовой оконечности ПТС, очевидно;

б) форма волнового профиля зависит от значения числа Фруда. Максимальное значение числа Фруда для ПТС не превышает 0,2, в то время как для надводных водоизмещающих судов это значение может достигать 0,5. Более того, для оценки управляемости в ряде справочников [1, 4] рекомендуется вообще не учитывать возможное изменение параметров управляемости, если значение числа Фруда менее 0,2. Например, в справочнике [2, т. 3] приведены графики, позволяющие учесть влияние числа Фруда на ходовой дифферент, которые начинаются со значения 0,35;

в) для надводных судов определять, в каком направлении будет изменяться ходовой дифферент (на нос или на корму), рекомендуется только по результатам модельных испытаний или на основании данных о судах-прототипах; критерии или расчетные методики отсутствуют [2, т. 1].

У ПТС даже с учетом того, что значение числа Фруда не превышает 0,2, параметры управляемости зависят от скорости хода, и весьма значительно, поэтому учет этого фактора снижает достоверность соответствующих расчетных значений.

Цель и содержание исследований. Целью данного исследования было получение аналитических зависимостей, позволяющих (без проведения модельных испытаний) учитывать влияние числа Фруда на параметры управляемости ПТС в надводном положении. В основном все ПТС имеют тенденцию к нарастанию ходового дифферента на нос («зарываю-» носом) и, соответственно, с увеличением скорости хода их маневренные качества повышаются. Изменение дифферента всего на $10'$ – $20'$ уже заметно сказывается на параметрах управляемости. Например, результаты натурных испытаний ПТС проекта_1 показали, что угол дифферента изменяется от $0^{\circ}15'$ на корму (при отсутствии хода, статический дифферент) до $1^{\circ}30'$ на нос (при максимальной надводной скорости V_{max}), такое изменение можно считать очень значительным, просто огромным. Поэтому минимальный относительный диаметр установившейся циркуляции (измеряемый в длинах корпуса \bar{D}) при увеличении скорости хода от $0,5V_{max}$ до V_{max} уменьшается на 0,8 длины корпуса. При малых углах перекалки вертикальных рулей влияние скорости хода на диаметр циркуляции проявляется еще сильнее, при угле перекалки 5° различие в диаметрах составляет 4 длины. Результаты этих испытаний приведены на рис. 2.

Даже из этого единичного примера следует важный вывод, что при расчетной оценке параметров управляемости ПТС в надводном положении необходимо учитывать влияние числа Фруда на гидродинамические характеристики корпуса. Натурные маневренные испытания ПТС в надводном положении

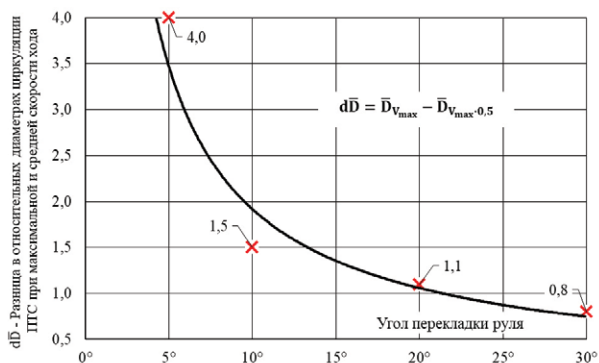


Рис. 2. Натурные данные (ПТС проекта_1)

при более чем одной скорости хода проводятся крайне редко, при этом оценить изменение дифферента и зафиксировать форму волнового профиля достаточно сложно. Поэтому для оценки изменения указанных параметров в широком диапазоне скоростей хода были выполнены соответствующие расчеты с использованием средств численной гидродинамики CFD.

В качестве объекта для моделирования был выбран ПТС проекта_2, для которого в ходе натурных испытаний были получены значения ходового дифферента при двух скоростях хода, а также имеются результаты модельных испытаний. Моделирование выполнялось с использованием пакета вычислительной гидродинамики STAR – CCM+. Типы границ в расчетной области были следующие: передняя, нижняя и верхняя – Velocity inlet, боковые – Symmetry plane, задняя – Pressure outlet. Моделирование свободной поверхности осуществлялось методом VOF (Volume of Fluid). Задача решалась в нестационарной постановке, с двумя степенями свободы объекта, при вертикальном перемещении и вращении по углу дифферента. Динамическая посадка объекта определялась методом Equilibrium. В данном методе динамическая посадка определяется квазистатическим способом – во время решения по поисковому алгоритму осуществляется изменение осадки и дифферента объекта до тех пор, пока нормы невязок по сумме силы тяжести, гидростатической и гидродинамической силы, а также их моментов не будут меньше заданной величины.

Результаты выполненного моделирования движения ПТС проекта_2 в надводном положении с использованием средств вычислительной гидродинамики, кроме зависимости ходового дифферента от числа Фруда, позволили получить форму волнового профиля в районе носовой оконечности. Для проверки корректности моделирования волнового профиля было выполнено сопоставление значения сопротивления ПТС, полученного в ходе модельных испытаний и численного моделирования. На рис. 3 приведены графики сопротивления в зависимости от числа Фруда. Относительная погрешность при $Fr = 0,07$ составила 5,1%, а при $Fr = 0,2$ всего 0,9%. На основании полученных результатов можно считать, что относительная погрешность в определении сопротивления является вполне допустимой для моделирования волнового профиля.

Полученные формы профиля волн показаны на рис. 4 и рис. 5. На рис. 5 хорошо виден подъем воды в районе носовой оконечности (эффект «зарывания») при увеличении скорости хода.

Значения ходового дифферента, полученные расчетным методом и зафиксированные в ходе натурных испытаний приведены на рис. 6.

Результаты моделирования показали изменение дифферента в направлении на нос по мере увеличения числа Фруда, что хорошо согласуется с натурными данными.

Анализ полученных результатов. Анализ полученных результатов позволяет констатировать, что при составлении математической модели движения ПТС в надводном положении необходимо учитывать влияние числа Фруда на гидродинами-

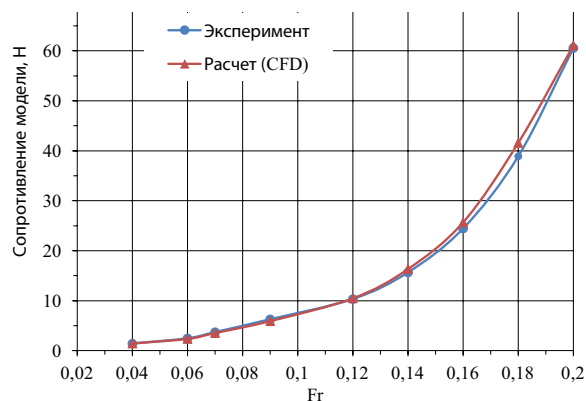


Рис. 3. Зависимость сопротивления от числа Фруда

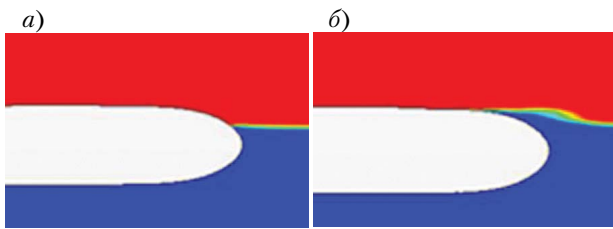


Рис. 4. Профиль волны (вид сбоку): а – $Fr = 0,07$, б – $Fr = 0,2$

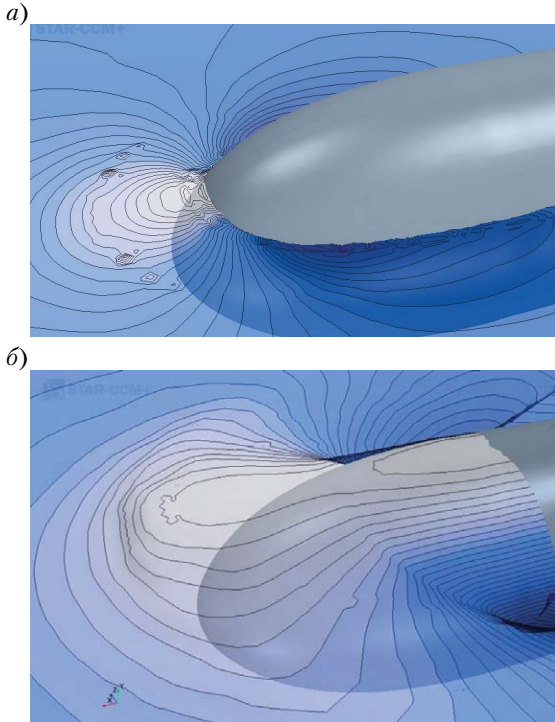


Рис. 5. Поверхность воды в районе носовой оконечности: а – $Fr = 0,07$, б – $Fr = 0,2$

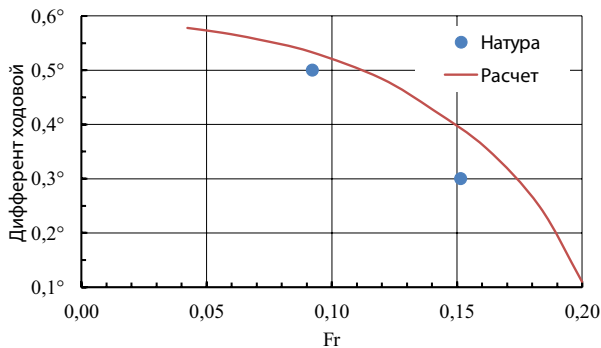


Рис. 6. Зависимость ходового дифферента от Fr для ПТС проекта 2

ческие характеристики корпуса. Традиционно аналитическое представление гидродинамической силы и момента, действующих на корпус надводных водоизмещающих судов и ПТС (в горизонтальной плоскости), которое используется при составлении математических моделей движения, имеет следующий вид:

$$Z_{\text{н}} = \left(C_z^{\beta} \cdot \beta + C_z^{\beta|\beta} \cdot \beta \cdot |\beta| + C_z^{\bar{\omega}_y} \cdot \bar{\omega}_y + C_z^{\bar{\omega}_y, \beta} \cdot \bar{\omega}_y \cdot \beta \right) \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot L \cdot T; \quad (1)$$

$$M_{y_{\text{н}}} = \left(m_y^{\beta} \cdot \beta + m_y^{\beta|\beta} \cdot \beta \cdot |\beta| + m_y^{\bar{\omega}_y} \cdot \bar{\omega}_y + m_y^{\bar{\omega}_y, \beta} \cdot \bar{\omega}_y \cdot \beta \right) \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot L^2 \cdot T; \quad (2)$$

$$\bar{\omega}_y = \omega_y \cdot \frac{L}{v}, \quad (3)$$

где $Z_{\text{н}}$ – боковая гидродинамическая сила, возникающая на корпусе; $M_{y_{\text{н}}}$ – гидродинамический момент (по курсу) возникающий на корпусе; ω_y – угловая скорость относительно

вертикальной оси; ρ – плотность воды; v – скорость хода; L – длина корпуса по действующую ватерлинию; T – осадка на миделе; β – угол дрейфа в центре тяжести, $C_z^{\beta}, C_z^{\beta|\beta}, m_y^{\beta}, m_y^{\beta|\beta}, C_z^{\bar{\omega}_y}, C_z^{\bar{\omega}_y, \beta}, m_y^{\bar{\omega}_y}, m_y^{\bar{\omega}_y, \beta}$ – безразмерные гидродинамические коэффициенты.

Используя математические модели движения ПТС, составленные для фиксированного значения числа Фруда, и сопоставляя результаты расчетов по ним с результатами натурных испытаний ПТС этих же проектов, полученные при двух скоростях хода (чисел Фруда), позволило выработать подход для учета влияния числа Фруда. Такой учет предлагается выполнять с использованием поправочного коэффициента. Поправочный коэффициент оптимально использовать при расчете только трех из указанных выше коэффициентов (это первые производные, вклад которых наиболее весомый), соответствующие формулы имеют вид

$$m_y^{\beta} = m_{y0}^{\beta} \cdot \frac{1}{K_{Fr}}; \quad (4)$$

$$C_z^{\bar{\omega}_y} = C_{z0}^{\bar{\omega}_y} \cdot K_{Fr}; \quad (5)$$

$$m_y^{\bar{\omega}_y} = m_{y0}^{\bar{\omega}_y} \cdot K_{Fr}; \quad (6)$$

$$K_{Fr} = 1 - (A_1 \cdot Fr + A_2 \cdot Fr^2 + A_3 \cdot Fr^3); \quad (7)$$

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}}. \quad (8)$$

Здесь $m_{y0}^{\beta}, C_{z0}^{\bar{\omega}_y}, m_{y0}^{\bar{\omega}_y}$ – безразмерные гидродинамические коэффициенты, определенные для корпуса ПТС при статическом дифференте, без учета влияния числа Фруда, Fr – число Фруда, K_{Fr} – коэффициент учитывающий влияние числа Фруда, A_{1-3} – коэффициенты аппроксимации, определенные авторами в ходе исследований по данной теме.

Принципиальный характер зависимости коэффициента K_{Fr} от числа Фруда представлен на рис. 7.

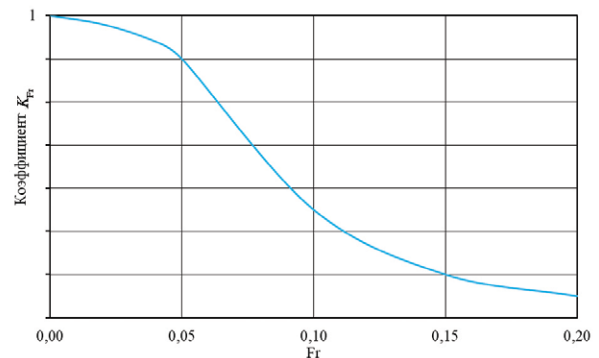


Рис. 7. Характер зависимости коэффициента K_{Fr} от числа Фруда

Предложенный подход учета влияния скорости хода (числа Фруда) на управляемость хорошо согласуется с имеющимися результатами натурных и модельных испытаний ПТС различных проектов, поэтому предложенный коэффициент K_{Fr} можно использовать как универсальный.

Выводы. Полученные результаты исследований позволили уточнить физическую причину влияния скорости хода (числа Фруда) на управляемость в надводном положении ПТС, имеющих удобообтекаемую (близкую к телу вращения) форму корпуса, а также предложить соответствующие универсальные формулы для учета этого влияния на гидродинамические характеристики корпуса ПТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Соболев Г.В.* Управляемость корабля и автоматизация судовождения. – Л.: Судостроение, 1976.
2. *Справочник по теории корабля.* – Т.1, 3. – Л.: Судостроение, 1985.
3. *Гофман А.Д.* Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна: Справ. – Л.: Судостроение, 1988.
4. *Мастушкин Ю.М.* Управляемость промысловых судов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. ■

Г.А. ТУРИЧИНУ - 60 ЛЕТ

*Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет,
контакт. тел. (812) 714 0761*

Глеб Андреевич родился 2 сентября 1963 г. в Ленинграде. В 1986 г. окончил физико-механический факультет Ленинградского политехнического института им. М. И. Калинина по специальности «металлофизика и металловедение». В 1991 г. защитил кандидатскую диссертацию по теме «Физические основы процесса формирования шва при электронно-лучевой сварке с глубоким проплавлением», в 2000 г. – докторскую диссертацию по теме «Теоретические основы и моделирование процесса лучевой сварки металлов с глубоким проплавлением».

С 2001 по 2014 г. возглавлял кафедру «Сварка и лазерные технологии», а с 2009 по 2013 г. – факультет «Технология и исследование материалов» Санкт-Петербургского политехнического университета (СПбПУ). В 2004 г. основал и возглавил Институт лазерных и сварочных технологий (ИЛИСТ), который теперь входит в состав Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ).

В 2006–2016 гг. он – директор по научной работе ООО «Центр лазерных технологий». В 2016 г. исполнял обязанности заведующего кафедрой «Лазерные технологии» СПбПУ. Вскоре был назначен и. о. ректора СПбГМТУ, затем выбран его коллективом и утвержден Минобрнауки России на должность ректора, которую исполняет по настоящее время.

В 2009–2022 гг. – еще и директор Российско-Германского центра лазерных технологий, а с 2017 г. научный руководитель лазерного центра судостроения АО «ЦТСС».

Сфера его интересов – теоретические исследования, моделирование, разработка технологий и оборудования для лучевой обработки материалов. Г. А. Туричин – один из ведущих специалистов в этой области в России и за рубежом. Под его руководством и при непосредственном участии выполняются НИОКР в области лазерных, гибридных и аддитивных технологий, реализованы проекты по разработке технологических установок для лазерной и гибридной сварки, лазерной резки, наплавки и термообработки для различных применений, прямое лазерное выращивание, в том числе корабле- и судостроения, программные комплексы для инженерного компьютерного анализа процессов лазерной, электронно-лучевой и гибридной сварки.

Является действующим членом международного редакционного совета Elsevier Editorial, редакций научно-технических и производственных журналов «Автоматическая сварка», «Сварка и диагностика», «Фотоника», сопредседателем редакционного совета научно-технического и информационно-аналитического журнала «Морской вестник», а также членом Международного общества оптических инже-



неров (SPIE), Европейского оптического общества (EOS), Немецкого научного общества лазерной техники (WLT), совета директоров АО «Ситроникс» и НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова.

Является действующим членом Экспертного совета по развитию судостроительной промышленности и морской техники Комитета Государственной Думы по промышленности и торговле.

Научные труды Г. А. Туричина (более 210 публикаций) посвящены взаимодействию лазерного излучения с веществом, развитию лазерной техники и технологии, промышленному применению технологий лазерной и гибридной лазерно-дуговой сварки. Он имеет пять патентов на изобретения.

Кроме того, Г. А. Туричиным разработаны программное обеспечение, используемое в образовательном процессе, три авторских курса для студентов четвертого и пятого года обучения. Читает курсы «Основы теплофизики и механики сплошных сред», «История развития технологий материаловедения», «Физика взаимодействия концентрированных потоков энергии с веществом», «Модели процессов лучевой обработки», «Высокоэффективные технологии обработки материалов», «Специальные виды соединения материалов». Он является руководителем двух магистерских программ, программы двойного дипломирования и программы на английском языке для студентов-иностранцев. Ведет учебно-методическую работу, направленную на подготовку молодых специалистов и аспирантов. Входит в диссертационный совет ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», является Председателем диссертационного совета СПбГМТУ, а также входит

в его Ученый совет. Под его научным руководством пять аспирантов защитили кандидатские диссертации.

За время пребывания Г. А. Туричина на посту ректора Корабелки существенно вырос входной балл для поступления в вуз. Были проведены реконструкции Конгресс-центра и Спортивного комплекса университета, выполнены капитальные ремонты общежития, учебной гребной базы СПбГМТУ и учебно-лабораторного корпуса в Адмиралтейском районе. Осуществлена модернизация учебных лабораторий, отремонтированы аудитории и общежития. В университете начали свою работу центр координации сети инженерных классов и «Фабрика процессов», открылись факультет цифровых промышленных технологий и инженерно-экономический факультет. Корабелка стала участником федеральных программ «Приоритет-2030» и «Передовые инженерные школы», а также вошла в Научный центр мирового уровня «Передовые цифровые технологии». В 2023 году СПбГМТУ занял первое место в предметном рейтинге России Raex в категории «Кораблестроение и водный транспорт-2023», подтвердив свое звание ведущего кораблестроительного вуза страны. Глеб Андреевич Туричин – лауреат премии Правительства РФ в области образования, которой отмечено «Создание инновационной научно-образовательной системы подготовки кадров высшей квалификации в области лазерной технологии обработки материалов» (2010).

Его труд отмечен многими медалями, в том числе: юбилейной медалью Совета Безопасности Российской Федерации (2017), медалью Совета Безопасности Российской Федерации «За заслуги в обеспечении национальной безопасности» (2018), медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени (2020), медалью Минобрнауки России «За вклад в реализацию государственной политики в области образования» (2021). В 2022 г. Правительством Санкт-Петербурга ему присуждена премия им. Д. К. Чернова в номинации «Материаловедение».

Коллектив и студенты Санкт-Петербургского государственного морского технического университета поздравляют Глеба Андреевича с 60-летием и желают ему здоровья и дальнейших творческих успехов.

Редакционный совет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этому поздравлению и желают Г. А. Туричину благополучия и новых научных достижений. ■

Большинство эксплуатируемых в настоящее время на территории Российской Федерации пассажирских судов имеют значительный возраст. Многие из них прошли не одну модернизацию. А как известно, физические ресурсы судов не безграничны, и уже давно назрел вопрос обновления пассажирского флота. Для формирования программы его обновления необходимо грамотно подходить к составлению технических заданий на требуемые суда. Формируя программу развития флота, следует создавать линейки судов, что позволит достичь высокого уровня унификации при проектировании, постройке и эксплуатации судов.

Для составления корректного технического задания на проектирование необходимо детально проработать требования к судну, исходя из предполагаемых условий его эксплуатации. Модель использования судна в самом первом приближении должна учитывать район его эксплуатации, маршрутные линии, целевую аудиторию, количество экипажа, места бункеровки и пополнения провизии, альтернативные варианты использования. От подробности составления предполагаемой модели использования судна в дальнейшем будут зависеть оптимальность характеристик и дальнейшая его экономическая эффективность.

По результатам изучения и анализа модели использования судна составляется техническое задание на разработку проекта. В нем следует отражать технические и эксплуатационные требования к судну. Каждый заказчик при составлении технического задания имеет свой набор требований, но основными техническими и эксплуатационными требованиями применительно к пассажирским судам являются такие, как район плавания, количество пассажиров, численность экипажа, автономность по запасам топлива, автономность по провизии, номенклатура помещений, соотношение площадей помещений, возможность их трансформации. Ориентируясь на основной перечень требований, уже можно формировать предварительный облик судна.

На основании технического задания разрабатывается проект пассажирского судна. Проектирование выполняется с использованием общепроектных зависимостей с учетом особенностей пассажирских судов, к особенностям которых можно отнести относительно малый дедейт, условия размещения пассажиров и экипажа, повышенные требования к остойчивости и непотопляемости, увеличенные площади общественных помещений и т. п.

В процессе разработки проекта можно выделить несколько основных этапов:

ОБНОВЛЕНИЕ ПАССАЖИРСКОГО ФЛОТА

А.Р. Вьюшкин, гл. конструктор
АО «КБ «Вьмпел»,
контакт. тел. (831) 439 6723



- определение предварительных характеристик судна с применением статистических данных и эмпирических зависимостей;
- уточнение характеристик судна по результатам проработки планировочных решений;
- уточнение характеристик судна по результатам анализа выполнения требований нормативных документов (проверка остойчивости, непотопляемости и т. п.).

При этом следует отметить, что внесение изменений на более позднем этапе приводит к большим затратам на проектировку.

При разработке проекта современного пассажирского судна особое внимание необходимо обращать на вопросы повышения комфортабельности, так как от уровня комфорта в итоге зависит величина доходов, приносимых судном. Понятие комфорта включает в себя физиологические и эмоциональные составляющие. Основными физиологическими факторами, влияющими на уровень комфорта, являются: площади помещений, уровень шума, уровень вибрации, качка, параметры микроклимата и освещение. Для повышения уровня комфорта по физиологическим факторам необходимо предусматривать соответствующие технические решения. К таким решениям можно отнести установку качественной шумоизоляции, механизмов на амортизаторах, применение средств уменьшения качки, выделение площадей помещений, отвечающих заданному уровню комфорта, соответствующее оборудование помещений, установку систем вентиляции и кондиционирования воздуха с возможностью изменения температуры в каждом помещении. Физиологические факторы в итоге могут служить показателем уровня судна с технической точки зрения.

Эмоциональные составляющие комфорта во многом зависят от дизайнерских решений по оформлению судна, от комплекса предоставляемых услуг и развлечений.

Следует отметить, что экономическая эффективность судна зависит не только от доходов, которые будет приносить его эксплуатация, но и от расходов, которые предстоят заказчику на протяжении жизненного цикла. В целях сокращения статьи расходов следует выделить этапы строительства и эксплуатации судна. Стоимость строительства судна может быть сокращена путем уменьшения стоимости оборудования, а также времени строительства. Для поиска возможности сокращения стоимости оборудования разрабатываются технические требования к нему, которые должны отражать параметры оборудования для оценки возможности применения его в проекте. Сокращение срока строительства судна возможно при организации совместной слаженной работы завода-строителя и разработчика рабочей документации.

При разработке проекта круизного пассажирского судна пр. 00840 «Карелия» был выполнен полный комплекс вышеприведенных мероприятий. На первой стадии работ с заказчиком подготовлен опросный лист, по результатам заполнения которого определены основные требуемые характеристики судна, позволяющие получить необходимый экономический эффект. После совместного обсуждения и анализа основных характеристик судна разработана схема общего расположения, которая учитывала требования надзорных органов и пожелания по номенклатуре и объему помещений. В рамках совместной деятельности с заказчиком по мере приближения характеристик судна к опти-

мальным выработаны архитектурные решения и в целом внешний облик. Разработку дизайн-проекта внутренних интерьеров помещений теплохода выполнил подрядчик заказчика.

При работе над проектом учтен опыт эксплуатации пассажирских судов на аналогичных линиях. В результате выполненного анализа в проект заложены решения, позволившие в итоге повысить конкурентоспособность спроектированного судна. К таким решениям следует отнести:

- использование двухтопливной системы для работы главных двигателей и дизель-генераторов, что дает экономические преимущества судовладельцу управлять рентабельностью судна;
- применение компактной системы охлаждения механизмов энергетической установки с помощью бокскулеров, что позволило освободить место в машинном отделении. При этом учтены недочеты данной системы на прототипах при работе в теплой стоячей воде; нами применена дополнительная система подачи воды на охлаждение бокскулеров в данных условиях, что повысит эффективность их работы и уменьшит риск перегрева механизмов энергетической установки.
- улучшение комфортабельности благодаря созданию бассейна на солнечной палубе, а также большого количества развлекательных помещений, таких как ресторан (с приватной

зоной) вместимостью 100% пассажиров, музыкальный салон, бар, на ряду с прочими классическими зонами досуга, спорта, развлечений и СПА-зоны.

- полное разделение зон проживания, приготовления и приема пищи пассажиров, экипажа и обслуживающего персонала.
- учет особенностей эксплуатации теплохода в море и реке, которые накладывают свои особенности. Например, высоты речных причалов, как правило, ниже морских причалов, для этого на теплоходе «Карелия» предусмотрены побортные трапсходни для речных причалов с главной палубы, а для морских причалов – специальные механизированные сходни со средней палубы, что расположена выше. При этом данные механизированные сходни вписаны в экстерьер судна, что эстетически лучше воспринимается;
- учет замечаний команды по формированию пространства рулевой рубки для беспрепятственного осмотра окружающей забортной обстановки с борта на борт;
- особое расположение элитных кают «гранд сьют» для VIP пассажиров на шлюпочной палубе в самом носу судна, имеющих широкий обзор, что позволяет получать особые впечатления, особенно при движении, это может создать устойчивый спрос на данный вид кают и, как следствие, повысить рентабельность;

- применение различных технических решений для обеспечения комфортного пребывания людей с ограниченными возможностями.
- продуманность логистических решений погрузки-выгрузки механизмов, провизии, готовых блюд, белья, мусора на судне с применением грузоподъемных средств, что минимизирует трудозатраты персонала;
- организация особой системы приема электропитания с берега для режима гостиницы, при стоянке в речном порту в Москве, с возможностью берегового электропитания сразу от двух терминалов, что, по расчетам, должно обеспечить полное функционирование большого числа потребителей судна;
- проработанность вариантов модернизации судна для возможности эксплуатации на других линиях.

При подготовке технических требований к оборудованию с учетом результатов разработки технического проекта АО «КБ «Вымпел» ориентировалось на возможности отечественных производителей. Заложенные в проект технические решения полностью удовлетворяют всем требованиям по высокой степени автоматизации, удобству обслуживания, безопасности и комфортабельности теплохода.

В рамках совместной работы с заводом-строителем составлен график разработки документации, позволяющий сократить срок реализации проекта. ■





КАНОНЕРСКОМУ СУДОРЕМОНТНОМУ ЗАВОДУ - 140 ЛЕТ

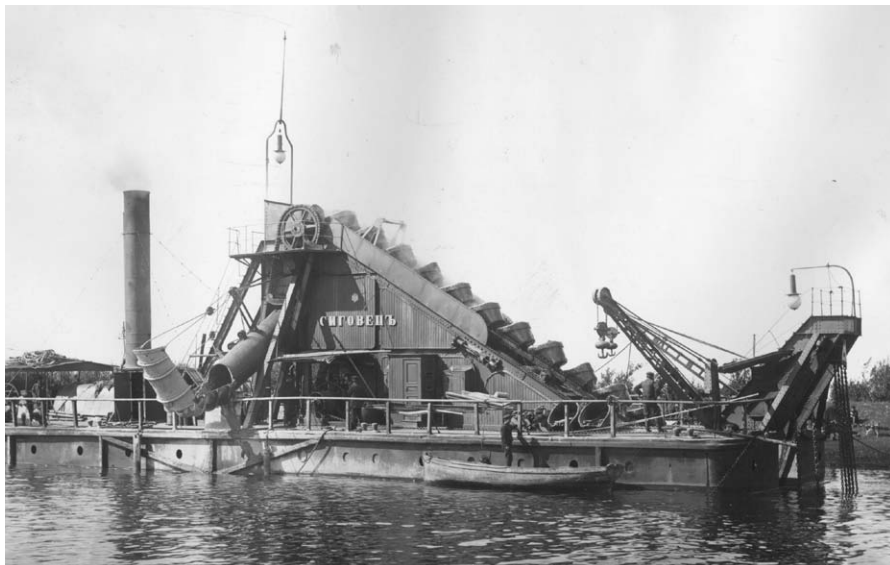
*Н.М. Вихров, д-р техн. наук, проф.,
академик Российской академии транспорта,
заслуженный работник транспорта РФ,
ген. директор ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»,
контакт. тел. (812) 746 9852*

В августе этого года Канонерский судоремонтный завод отметил 140 лет со дня своего основания.

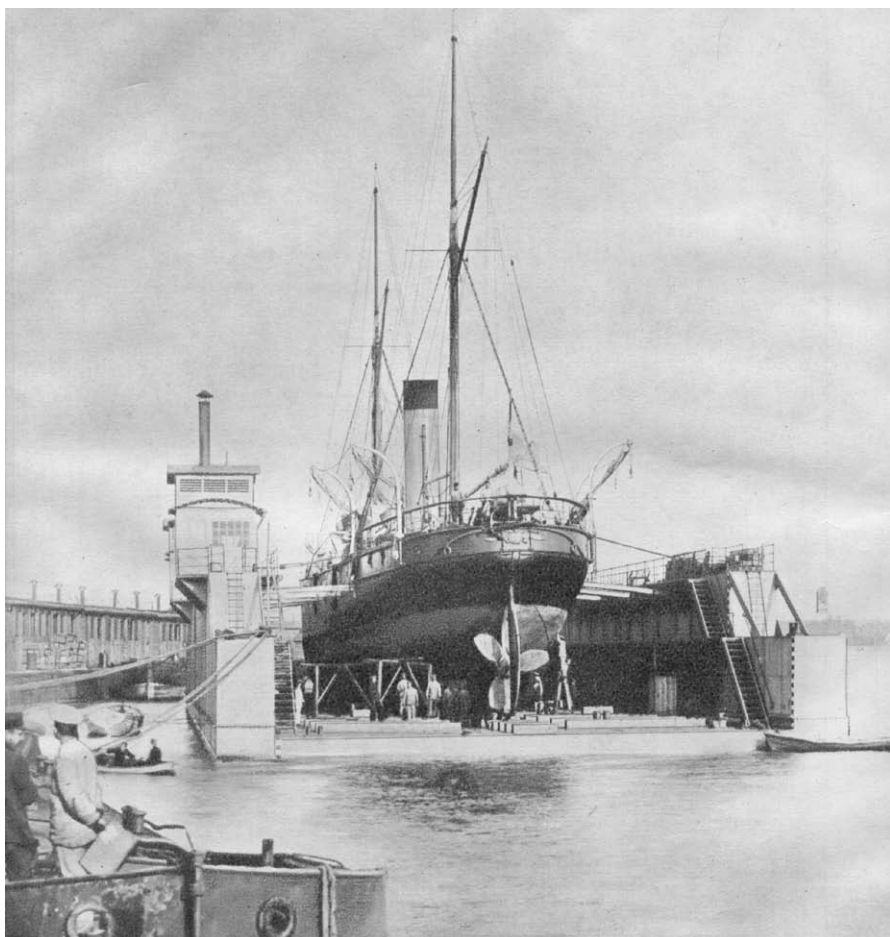
История его возникновения неразрывно связана с развитием Санкт-Петербурга как морской столицы России. После основания города Петром Великим возникли и разрастались кораблестроительные верфи, причалы для торговых судов. Однако судоходству препятствовали малые глубины на отмелях в дельте Невы. В город могли заходить только небольшие суда с осадкой не более 2,5 м. Строящиеся военные корабли на парных поддерживающих понтонах, называемых камелями, переправляли в Кронштадт на достройку и оснащение. Торговые суда также перегружались на баржи в Кронштадте, которые затем буксировали в Петербург. Это препятствовало развитию города как морского порта.

В 1872 г. межведомственным комитетом при Министерстве путей сообщения было рассмотрено 15 проектов строительства канала, лучшим из которых был признан проект Николая Ивановича Путилова и компании «Котар, Шампальон и Яницкий». В 1874 г. проект строительства канала был утвержден императором Александром II и подписан «Контракт на производство работ и поставок по устройству Санкт-Петербургского канала». Заказ-подряд на работы получил Путилов, Кларк и Пончард «с товарищами», но вскоре англичане вышли из проекта и вся ответственность за строительство канала легла на Н. И. Путилова.

В соответствии с проектом в 1875 г. протока между Канонерским и Гутуевским островами была перекрыта дамбами, вода откачана, и участок длиной 3 км углублен открытым способом. Землечерпалки работали на морской части канала. Всего в работах по строительству были заняты 27 000 человек. К сожалению, Н. И. Путилов не дожидаясь завершения строительства – он ушел из жизни в 1880 г. Морской канал был торжественно открыт 16 мая 1885 г.



Землечерпалка на строительстве Морского канала



Плавающий док грузоподъемностью 1600 т

Первоначально в 1876 г. на Канонерском острове построили кузницу для ремонта землечерпалок, затем установили металлообрабатывающие станки, а в 1883 г. отдельные казенные мастерские были преобразованы в Канонерские судоремонтные мастерские. Эта дата и считается датой основания Канонерского судоремонтного завода.

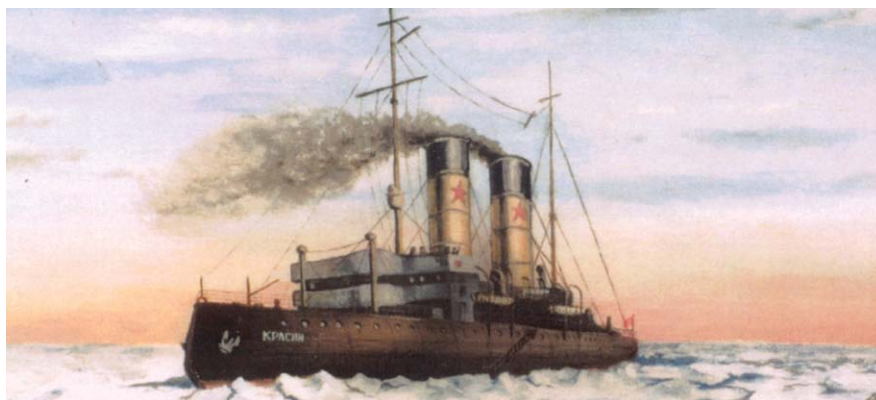
Мастерские развивались, и в 1910 г. был получен первый плавучий док грузоподъемностью 1600 т.

В советское время Канонерские судоремонтные мастерские становятся основной судоремонтной базой Балтийского морского пароходства. Строились новые цеха. В 1928 г. мастерские были переименованы в Канонерский судоремонтный завод Балтийского морского пароходства. И в этом же году после ремонта на заводе вышел в море ледокол «Красин» для спасения полярной экспедиции Умберто Нобиле. В спасении полярников участвовали 18 кораблей и 21 самолет из шести стран. 18 июня знаменитый полярник Р. Амундсен, участвовавший в спасении, пропал без вести вместе с гидросамолетом. Лишь советскому ледоколу «Красин» удалось пробиться сквозь льды и спасти экспедицию Нобиле 12 июля 1928 г.

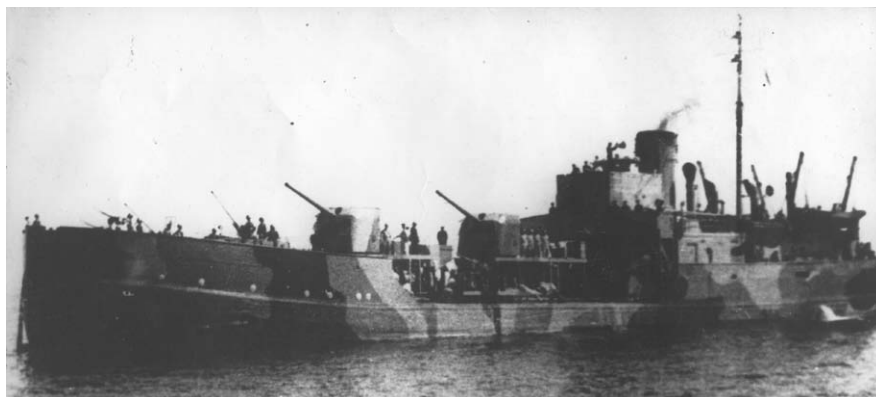
В 1930 г. Канонерский судоремонтный завод начал переоборудование грузового судна в китобойную базу с изготовлением слипа и установкой паровых лебедок и механизмов. В 1932 г. первая советская китобойная база «Алеут» с экипажем в 126 человек вышла в рейс на дальневосточный промысел.

Завод рос и строился. В годы второй пятилетки возникло и развивалось стахановское движение по внедрению правильной организации труда и повышению производительности. В 1937 г. кузнецу Рудольфу Лесову было присвоено звание Героя Социалистического Труда, его именем был назван новый теплоход Балтийского морского пароходства. Завод внедрил технологию сварки при ремонте судов в 1930 г., а к 1934 г. мощности предприятия увеличились в два раза по сравнению с дореволюционными. Для рабочих завода и их семей на Канонерском острове были построены новые дома, школа, клуб, столовая, детский сад и ясли.

С начала Великой Отечественной войны началась перестройка работы завода на военный лад. Шло переоборудование судов в военные транспорты, строились баржи для Дороги жизни на Ладоге. На заводе начали изготавливать фугасные авиабомбы, артиллерийские снаряды и газогенераторы, проводили срочный ремонт военных кораблей. Образовались дружины ополчения для охраны и обороны Канонерского острова. Несмотря на постоянные бомбежки и артиллерийские обстрелы, завод продолжал работать. Многие канонерцы ушли на фронт, и к станкам



Ледокол «Красин» спасает экспедицию Умберто Нобиле



Канонерская лодка «Селемджа», переоборудованная в 1943 г. из грунтоотвозной шаланды

встали женщины и подростки – к началу 1943 г. они заменили 203 работника. Всего 390 работников завода погибли на фронте, от голода и от обстрелов.

После окончания войны завод испытывал трудности с квалифицированными кадрами, поэтому каждый опытный рабочий обучал несколько учеников. Уже в 1945 г. была выполнена уникальная техническая задача – сращивание двух частей корпуса парохода «Челюскинец» с удлинением корпуса на 16 м. К 1947 г. завод восстановил объемы производства и стал уверенно наращивать производство. В 1955 г. предприятие подготовило к первому антарктическому рейсу дизель-электроход «Обь». С 1957 по 1991 г. орденами и меда-

лями были награждены 111 работников предприятия, а слесарю Владимиру Котову в 1960 г. было присвоено звание Героя Социалистического Труда. В его честь был названо судно для перевозки тяжеловесных грузов «Стахановец Котов». Канонерский судоремонтный завод осуществлял переоборудование научно-исследовательских судов, обеспечивающих в дальнейшем космические полеты.

Помимо судоремонта начало развиваться и судостроение. Строили паромы, рефрижераторы-снабженцы, буксиры. Ввели в строй корпусной и электромонтажный цех, на острове возводили новые многоэтажные дома для рабочих и их семей. Летом 1983 г. Канонерский



Сборочно-командное судно «Си Ланч Коммандер» проекта «Морской старт» у заводского причала во время переоборудования, 1998 г.

остров соединили с городом подводным туннелем, проходящим под Морским каналом. В 1983 г. завод в связи с его 100-летием наградили орденом Трудового Красного Знамени.

В 90-е годы, когда из плановой экономики советского периода завод попал в рыночные отношения, встал вопрос о выживании предприятия. Рынок требовал поиска новых форм и методов организации производства. Канонерский завод сумел выстоять, сохранить основной костяк высококвалифицированных кадров и за счет структурных и организационных реформ продолжить свою работу. В 1993 г. он стал акционерным обществом. Была налажена работа с иностранными компаниями, и в 1997 г., в условиях жесткой конкуренции, завод выиграл международный тендер и получил заказ на оснащение сборочно-командного судна «Си Ланч Коммандер» проекта «Морской старт». Это судно предназначено для транспортировки и управления запуском космических ракет с плавучей платформы, позиционированной в экваториальной зоне для кратного уменьшения соотношения веса ракетного топлива к полезной нагрузке, выводимой на орбиту. Первый запуск ракеты комплексом «Морской старт» был выполнен в 1999 г. С 1999 по 2014 г. было осуществлено 36 запусков ракет на экваториальные орбиты.

В XXI в. к интересным проектам, которые реализовал завод, можно отнести модернизацию научно-исследовательского судна «Профессор Логачев», строительство плавучей вертолетной площадки и модернизацию глубоководных спасательных аппаратов ВМФ. На заводе был создан сварочный аттестационно-испытательный центр, освоены технологии сварки титановых корпусов глубоководных аппаратов. К интересным проектам последних лет можно отнести докование атомного лихтеровоза «Севморпуть» длиной 260 м. Операция по подъему судна была детально проработана и по мере всплытия дока выполнялась его дебалластировка для уменьшения нагрузки на док. Также завод провел доковый ремонт аналогичных по размерениям арктических челночных танкеров компании «Газпромнефть Шиппинг» – «Штурман Кошелев», «Штурман Скуратов» и «Штурман Щербинин». В настоящее время завод активно осуществляет ремонт судов, которые из-за санкций потеряли возможность ремонтироваться за границей. Это суда компании «Совкомфлот», научных и рыбопромысловых компаний.

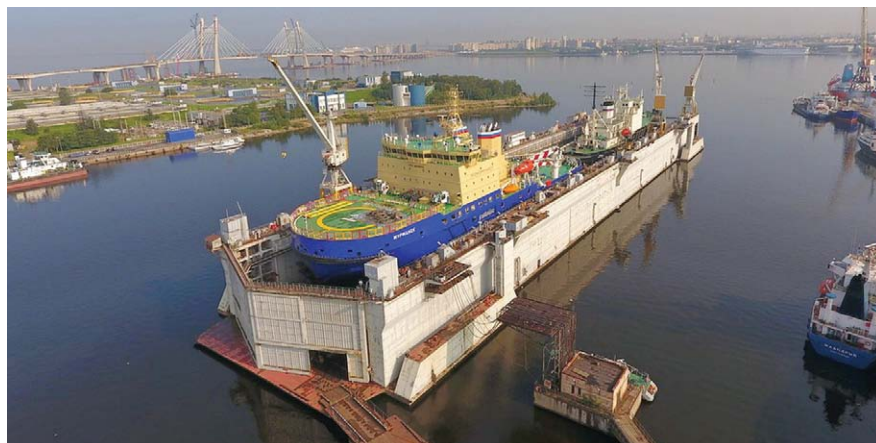
Сегодня Канонерский судоремонтный завод имеет опытный и квалифицированный персонал, освоил современные технологии, и это позволяет ему выполнять весь спектр судоремонтных работ с высоким качеством. Канонерцы своими делами вписывают новые страницы в славную историю родного завода. ■



Вывод атомного контейнеровоза «Севморпуть» из плавучего дока



Танкер «Штурман Скуратов» в доке завода



Ледокол «Мурманск» в доке № 5 Канонерского судоремонтного завода



Винторулевые колонки ледокола «Мурманск»



К 90-ЛЕТИЮ ПАО «СУДОСТРОИТЕЛЬНАЯ ФИРМА «АЛМАЗ»*

*И.М. Мухутдинов, ген. директор ПАО «СФ «Алмаз»,
контакт. тел. (812) 622 0335*

ПАО «СФ «Алмаз» ведет свою историю от верфи Морпогранохраны ОГПУ (НКВД), основанной в 1933 г. для оснащения морских пограничников сторожевыми катерами с корпусами из дерева. К наиболее значимой продукции тех лет следует отнести сторожевые катера типа МО-4, созданные под руководством главного конструктора профессора С. В. Пугавко.

от 29 апреля 1939 г. «за выдающиеся успехи в деле оснащения Красной Армии и ВМФ военной техникой» большая группа работников завода была награждена орденами и медалями, а директор завода Е. Я. Локшин – орденом Ленина. В 1939 г. предприятие начало освоение новой продукции – строительство торпедных катеров типа ТК-ДЗ, проект которых разработан под руководством главного конструктора Л. Л. Ермаша. Опытный ТК-ДЗ в 1940 г. успешно прошел государственные испытания на Черном море и был принят на вооружение как первый отечественный торпедный катер дальнего действия. К началу Великой Отечественной войны была построена и передана Краснознаменному Балтийскому флоту (КБФ) головная серия катеров ТК-ДЗ из 5 ед.

Вероломное нападение фашистской Германии 22 июня 1941 г. на нашу страну в одночасье изменило жизнь страны

и предприятия. Уже в первые дни войны в ряды действующей армии, флота, народного ополчения и партизанские отряды ушли по призыву и добровольно около 1300 человек, что составило почти половину сотрудников предприятия. Уже на второй день войны на заводе были созданы штаб и отряды МПВО. Бойцы МПВО, в основном дежушки, самоотверженно несли службу и выполняли производственные задания. В августе 1941 г. службу МПВО перевели на казарменное положение. В июле – августе 1941 г. на заводе по решению командования Ленинградского фронта был организован рабочий батальон. Снабженцы завода раздобыли побывавший в боях и серьезно поврежденный танк Т-34 и две танкетки, отремонтировали их на заводе и передали в распоряжение рабочего батальона. Через два месяца после начала войны враг подошел к нашему городу – сомкнулось вражеское кольцо, и началась беспрецедентная 900-дневная блокада Ленинграда. Незадолго до ее начала в поселок Сосновка Кировской области были эвакуированы часть оборудования завода и около 100 квалифицированных рабочих для организации там на тыловом предприятии так нужных флоту катеров типов МО-4 и ТК-ДЗ. Эту группу на начальном этапе возглавили директор завода Е. Я. Локшин и главный инженер И. К. Силин.

С первых дней войны вступил в действие мобилизационный план, которым заводу предписывалось проведение модернизации и ремонта боевых катеров. По этому плану поруча-



Малый охотник типа МО-4

Благодаря двойному назначению они более известны как малые охотники. Катера МО-4 поставляли как Морпогранохране, так и ВМФ. К началу Великой Отечественной войны предприятие построило 188 сторожевых катеров типа малый охотник. Эти катера внесли весомый вклад в великое дело Победы в Великой Отечественной войне.

Уже к 1939 г. предприятие благодаря своим трудовым успехам превратилось в крупный отечественный центр военного катеростроения. Не случайно, Указом Президиума Верховного Совета СССР



Торпедный катер типа Д-3

* В подготовке материалов настоящей статьи принимали участие: зам. генерального директора – директор по маркетингу ПАО «СФ «Алмаз» С. Н. Галиченко, экс-директор музея ПАО «СФ «Алмаз» И. Я. Баскаков, зам. директора по маркетингу ПАО «СФ «Алмаз» И. А. Пуськова, инженер-системотехник отдела информационных технологий ПАО «СФ «Алмаз» В. В. Румянцев.

лось срочно заменить вооружение на катерах МО-4, находившихся в составе Балтийского флота. Работу вели в три смены и завершили в течение нескольких недель. Особую самоотверженность при этом проявили судосборщики Гончаров, Владимиров, мастера Глухов, Копкин, строители Одинцов, Тимофеев. Оставшийся в осажденном Ленинграде коллектив сумел в первые месяцы блокады сдать флоту 40 малых охотников МО-4, продолжить строительство ТК-ДЗ, а также катерных тральщиков на базе малых катеров типа КМ-4. В июле 1941 г. согласно распоряжению руководства ВМФ пять торпедных катеров ТК-ДЗ из состава Балтийского флота передавались в состав Северного флота (СФ). Все подготовительные работы, организацию перевозки катеров с Балтики на Север поручили нашему заводу. Специальная команда во главе со строителем А. А. Тимофеевым и сдаточным механиком Х. А. Мухиным успешно осуществила перевод катеров в условиях военного времени. Эти катера составили ядро первой бригады торпедных катеров СФ. 1 августа 1941 г. катера ТК-ДЗ были доставлены в Мурманск, и уже 11 сентября боевые катера № 11 и № 12 потопили фашистский транспорт, а 14 сентября катера № 13, № 14 и № 15 успешно атаковали конвой противника. Один из катеров этой группы – ТКА-12 под командованием А. О. Шабалина потопил подводную лодку, пять транспортов и два сторожевых корабля фашистов, удачно высадил десант в гавань Лиинахамари в ходе Печенгско-Киркинесской наступательной операции. За свои смелые и результативные атаки А. О. Шабалин был дважды удостоен высокого звания Героя Советского Союза. В память о мужестве катерников Заполярья катер ТКА-12 установлен в сквере г. Североморск в качестве памятника.

На Северном флоте успешно сражались с противником как катера ТК-ДЗ,

так и катера МО-4. В ходе упомянутой операции по захвату гавани Лиинахамари главные силы десанта возглавлял на малом охотнике типа МО-4 (боевой № МО-423) С. Д. Зюзин, удостоенный за эту операцию звания Героя Советского Союза.

Руководство страны высоко оценило заслуги нашего предприятия в деле

Решением ВЦСПС и НКСП коллективу нашего завода за отличную работу в условиях блокады и выпуск боевых катеров на вечное хранение было передано также Красное Знамя победителя во Всесоюзном социалистическом соревновании.

Снятие блокады Ленинграда коренным образом улучшило рабочую обста-



Грамота Президиума ВС СССР

оснащения ВМФ в годы Великой Отечественной войны современными боевыми катерами. 31 мая 1944 г. Председателем Президиума Верховного Совета СССР М. И. Калининым был подписан Указ «За успешную работу по строительству боевых торпедных катеров для ВМФ, за их высокие технические и боевые качества, за самоотверженный труд коллектива рабочих, инженерно-технических работников и служащих. Назнал от 3 мая 1944 года награды завод № 5 Народного комиссариата судостроительной промышленности СССР Орденом Трудового Красного Знамени. Орденами и медалями была награждена большая группа работников завода.

новку. Программа завода по катеростроению и ремонту была определена Постановлением ГКО № 5009 от 22 января 1944 г. Согласно этому постановлению завод сдал в 1944 г. 34 ед. катеров ТК-ДЗ и МО-ДЗ, а также переделал большую работу по ремонту действующих катеров КБФ. В 1944 г. было отремонтировано 159 катеров.

Срочность выполнения ремонта диктовалась широким масштабом операций, проводимых катерами в Выборгском и Нарвском заливах, в районе Таллина, островов Эзель и Даго. Особо остро встал вопрос о ремонте катеров в июле 1944 г., когда по ходатайству Командующего КБФ В. Ф. Трибуца на завод было возложено обязательство отремонтировать 20 катеров со снятием с плана первых ТКА и МО. Катера имели довольно серьезные повреждения, на ликвидацию которых пришлось потратить не менее месяца. При ремонте требовалось изготовить большое количество таких изделий, как кронштейны гребных валов, гребные винты, выполнять рихтовку гребных валов, центровку валовых линий, в связи с чем создавалась напряженность с постройкой новых катеров. Тем не менее предприятие успешно справилось с поставленной перед ним задачей.

О героических делах моряков, воевавших на катерах ТК-ДЗ, МО-4, МО-ДЗ, написано немало воспоминаний, очерков. Торпедные катера типа ТК-



Торпедный катер ТКА-12 типа Д-3



Глубинное бомбометание с катера типа МО-4

ДЗ показали себя эффективными боевыми единицами в борьбе с противником на Балтике, Черном море и Севере. Так, катер ТК-ДЗ (зав.№ 1) в 1941 г. во время набега на Балаклаву потопил итальянскую малую подводную лодку СВ-5. На Балтике торпедные катера, преодолевая все сложности первого периода войны, продолжали активно действовать на вражеских морских путях, участвовали в высадке десантов, с началом наступления наших войск обеспечивали траление в Нарвском и Выборгском заливах, участвовали в освобождении островов Моонзундского архипелага, Лиепаи и Балтийска, уничтожении Курляндской группировки немцев, освобождении островов Борнхольм и Рюген.

Малые охотники МО-4 и МО-ДЗ также снискали себе заслуженную славу в боях с врагом. Они участвовали во многих боевых операциях на Балтике: эвакуации гарнизона Ханко, защите кораблей во время героического Таллинского перехода флота, на Ладоге защищали коммуникации Дороги жизни, сражались у острова Сухо, участвовали в Тулоксинской десантной операции, в десантных операциях по освобожде-

нию островов Выборгского залива, Моонзундског.

Необходимо вспомнить потопление подводной лодки U-250 малым охотником МО-4 под командованием гвардии старшего лейтенанта А. Коленко у острова Руонти на Балтике с секретными акустическими торпедами. На Черном море неосцим вклад малых охотников в освобождение Новороссийска, Керченско-Эльтигенской десантной операции, в освобождение Севастополя. На Северном флоте малые охотники сыграли



Катерный тральщик КМ-4

важную роль при защите и освобождении Советского Заполярья.

Семидесяти двум морякам, воевавшим на боевых катерах, присвоено высокое звание Героя Советского Союза, 28 из них воевали на катерах, построенных на нашем заводе.

Наряду с торпедными катерами типа ТК-ДЗ и малыми охотниками типов МО-4, МО-ДЗ важную роль в войне сыграли совсем маленькие катера постройки нашего завода типа КМ-4. Благодаря своей малой осадке (ок. 0,7 м), корпусу из дерева КМ-4 они могли проходить над минными полями противника. Поэтому их оборудовали как катерных тральщиков и ставили обычно в первых линиях траления.

Благодаря этим 10-тонным неутомимым труженикам 5 июня 1946 г. была снята морская минная блокада Ленинграда. В ЦПКО Санкт-Петербурга в честь катеров КМ установлен обелиск, у которого ежегодно 5 июня собираются ветераны сил траления на Балтике.



Памятный обелиск в ЦПКО

Коллектив завода своим героическим трудом, беспримерным самопожертвованием внес в дело Победы свой весомый вклад. Героические дела коллектива завода в годы Великой Отечественной войны оценены по заслугам, и слова «Завод № 5 НКСП» золотыми буквами написаны в торжествен-

ном зале Мемориального комплекса героическим защитникам Ленинграда на площади Победы. На предприятии 15 июля 1945 г. была создана «Книга Почета», куда занесены имена девяти лучших производственников, отличившихся в годы блокады Ленинграда. Вот они: М. А. Альховиков, А. И. Александров, П. В. Акманов, А. А. Владимиров, М. М. Глухов, В. Н. Жигарев, И. К. Завьялов, Ф. П. Кустов, П. П. Павлов.

Всего за годы войны наш завод построил 67 торпедных катеров типа ТК-ДЗ, 40 малых охотников МО-4, 46 малых охотников типа МО-ДЗ, 192 катера типа КМ, 128 десантных катеров типа К-ЗиС-5 и 671 гребное судно. За четыре года войны завод отремонтировал около 400 боевых катеров.

Согласно ленд-лизу на наше предприятие в конце 1943 г. из США были поставлены в разобранном виде американские торпедные катера типов «Воспер» (14 ед.) и «Элко» (29 ед.). Однако из-за недостатка квалифицированной рабочей силы в годы блокады их постройка завершилась только после окончания войны.

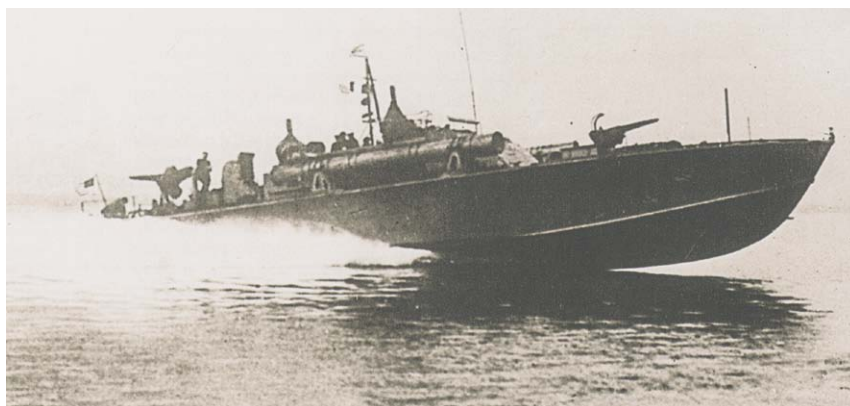
С окончанием Великой Отечественной войны началось форсированное восстановление разрушенного войной хозяйства, одновременно завод готовился к новым задачам

Вторая мировая война показала высокую эффективность торпедных катеров (ТКА), поэтому в послевоенных программах большинства флотов мира они получили значительное развитие.

Строительство отечественных ТКА первого послевоенного десятилетия велось, во-первых, по проектам, разработанным во время войны, и в связи с появлением легких дизелей, радиолокационных станций, артиллерийских систем шла их модернизация; во-вторых, по проектам, разработанным на основе опыта Великой Отечественной войны.

Производственная программа первого послевоенного десятилетия завода № 5 НКСП (Минсудпрома) включала постройку ТКА по обоим этим направлениям. К первому направлению относится ТКА пр. ТД-200бис, созданный на базе пр. ТД-200, разработанного в 1943 г. под руководством главного конструктора Л. Л. Ермаша. Головной ТКА этого проекта наш завод сдал ВМФ в октябре 1947 г. Всего в 1947–1952 гг. было построено 168 ед. ТД-200бис.

Одновременно в соответствии со вторым направлением на заводе шло создание проекта принципиально нового ТКА пр. 183, учитывающего военный опыт. Для его разработки было создано ОКБ-5 МВД под руководством главного конструктора П. Г. Гойнкиса. От своих отечественных «собратьев» ТКА пр. 183 отличался повышенной мо-



Торпедный катер «Элко»

реходностью за счет отказа от возможности перевозки по железной дороге при выборе главных размеров. Катер оснащался отечественной катерной РЛС, быстроходными дизелями и более эффективным вооружением, в том числе средствами самообороны. Первый опытный катер был заложен в октябре 1947 г. и сдан ВМФ в ноябре 1949 г. С 1952 г. на трех заводах Минсудпрома началось серийное строительство ТКА по пр.183. На нашем заводе в период 1952–1960 гг. было построено 220 таких ТКА. Это был лучший отечественный ТКА первого послевоенного десятилетия.

Авторы пр. 183 в 1951 г. были удостоены звания лауреатов Государственной премии, в их числе – главный конструктор проекта П. Г. Гойнкис. На базе данного проекта был создан ряд модификаций. Одной из них стал пр. 183Т, в котором в дополнение к четырем дизелям впервые в отечественном катеростроении была установлена газовая турбина М-1 мощностью 4000 л.с. главного конструктора С. Д. Колосова, позволившая достичь скорости 50 уз. По доработанному пр. 183ТК было построено 25 катеров.

Модификацией пр. 183 стал также сторожевой катер пр. 199, в котором торпедное вооружение было заменено на бомбовое – установлены два бомбомета и два бомбосбрасывателя; боезапас состоял из 36 глубинных бомб БГБ-1. Таких катеров в 1952–1959 гг. наш завод построил 52 ед.



Торпедный катер пр. 183

Бурный научно-технический прогресс второй половины XX в. привел к созданию совершенно новых боевых и технических средств для ведения боевых действий на море. К этому времени относится создание образцов мощного и достаточно легкого вооружения и техники: крылатых ракет с дальностями стрельбы сначала 40 км, а затем 80 и 120 км, скорострельных артиллерийских установок калибром 30 и 76 мм, радиолокационных и гидроакустических систем, обеспечивающих целеуказание на полную дальность действия оружия, легких и экономичных дизельных и газотурбинных главных энергетических установок. Это стало фундаментом для проведения специализированными НИИ и КБ Минсудпрома широкого спектра научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию принципиально новых носителей оружия, в том числе катеров.

Успешная реализация новаторских идей стала возможной благодаря плодотворному сотрудничеству производственников, проектантов и научных кадров базовых институтов Минсудпрома, ВМФ, Минавиапрома и Минобороны. Появление компактных крылатых ракет в авиации не прошло незамеченным создателями боевых катеров. Концепцию оснащения катера оружием, позволяющим наносить удары по крупным кораблям противника, находясь вне зоны

действия его средств самообороны, впервые высказал начальник и главный конструктор СКБ-5 (ЦМКБ «Алмаз») Е. И. Юхнин. Обсудив проблему с создателем ракеты П-15 А. Я. Березняком и заручившись его согласием, он привлек к решению проблемы разработчиков РЛС и систем управления стрельбой. Приняв в качестве платформы строящийся на нашем заводе торпедный катер пр. 183, авторы идеи выполнили необходимые проработки и вышли в правительство с предложением создать ракетный катер, которое было одобрено. Так родилась первая в мире целевая программа по созданию ракетных катеров с проведением огромного объема ОКР. После разработки катера пр. 183Р, доработки систем наведения и управления ракет в 1957 г. два опытных катера были подвергнуты масштабным испытаниям на Черном море, после завершения которых на нашем заводе началось их серийное строительство.

С 1958 по 1965 г. завод построил 26 ед. ракетных катеров по пр. 183Р и переоборудовал по пр. 183ТР 30 торпедных катеров. Почти параллельно с созданием пр. 183Р ВМФ выдал Минсудпрому тактико-техническое задание (ТТЗ) на создание ракетного катера пр. 205. Этот катер должен был оснащаться четырьмя крылатыми ракетами П-15, РЛС обнаружения надводных целей и выдачи целеуказания ракетному оружию «Рангоут», двумя 30-мм артиллерийскими АК-230 с РЛС управления стрельбой «Рысь», а в качестве главных двигателей должны были применяться дизели М-503 (затем М-504) агрегат-

ной мощностью 4000 л.с. (5000 л.с. соответственно).

Принципиальным отличием катеров пр. 205 от всех ранее построенных нашим предприятием катеров было то, что корпус их изготавливался металлическим. Это потребовало коренной перестройки производства предприятия, коллектив которого под руководством директора В. Д. Колечицкого успешно справился с этой задачей.

В базовом пр. 205 удалось достичь удачного сочетания конструктивных особенностей корпуса, энергетической установки, состава вооружения. Это позволило в дальнейшем создать ряд модификаций данного проекта. Завод построил более 100 катеров пр. 205 в ракетном исполнении и более 110 ед. в пограничном варианте. Создатели первых в мире ракетных катеров проектов 183Р и 205 в 1962 г. были удостоены звания лауреатов Ленинской премии. Среди них – руководитель разработки и главный конструктор проекта Е. И. Юхнин, а также главный строитель и ответственный сдатчик завода Н. И. Мартынычев.

Катера проектов 183Р и 205, поставленные на экспорт, прошли проверку в локальных конфликтах. Они показали высокую эффективность в индо-пакистанском и арабо-израильском конфликтах. Это изменило взгляды зарубежных военно-морских специалистов на этот класс катеров и привело к появлению ракетных катеров во многих флотах мира.

Развивая класс ракетных катеров ВМФ в середине 1960-х гг. выдал ТТЗ

на создание нового ракетного катера, который в процессе проектирования вылился в малый ракетный корабль (МРК) пр. 1234 «Овод», разработанный под руководством главного конструктора И. П. Пегова. Строительство кораблей типа «Овод» осуществлялось на нашем заводе. Всего предприятие построило 40 МРК типа «Овод», в том числе 10 на экспорт. Последний такой корабль под названием «Ливень» был построен в 1991 г., он до настоящего времени в строю и в 2022 г. принял участие в главном военно-морском параде РФ в Санкт-Петербурге.

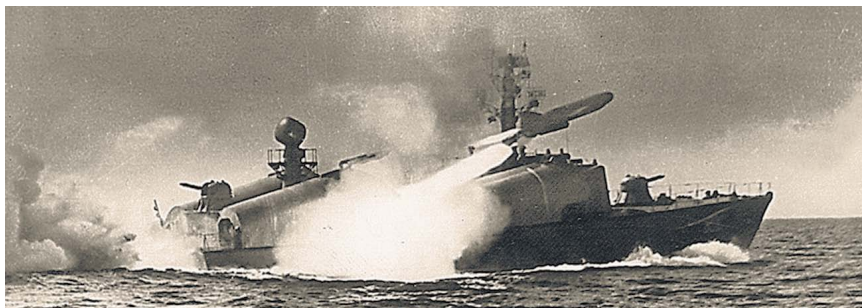
Комплекс вооружения МРК «Овод» послужил основой при создании опытного МРК пр. 1240 «Ураган» на автоматически управляемых подводных крыльях (АУПК). Этот уникальный корабль, развивавший скорость хода 60 уз, был построен на нашем предприятии и в 1981 г. передан ВМФ в опытную эксплуатацию. Создание этого корабля с титановыми АУПК – подтверждение высокого технического уровня нашей промышленности.

Последними ракетными катерами, построенными в 1980-х гг. на заводе, стали катера семейства «Молния» пр. 1241 и его модификаций, разработанные под руководством главного конструктора Героя Социалистического труда Е. И. Юхнина. Оснащенные новыми ракетами «Москит» и дизель-газотурбинной установкой они стали базовой платформой при создании ракетных катеров XXI века. Создатели этих катеров в 1997 г. были удостоены звания лауреатов Премии Правительства РФ, среди них – генеральный директор ПАО «СФ «Алмаз» (в настоящее время – председатель Совета директоров ПАО «СФ «Алмаз») Л. Г. Грабовец.

Параллельно с созданием ракетных катеров наше предприятие вне-



Ракетный катер пр. 183Р



Ракетный катер пр. 205



Евгений Иванович Юхнин

сло существенный вклад в оснащение ВМФ уникальными высокоскоростными десантными кораблями на воздушной подушке (КВП) амфибийного типа. Дело в том, что научно-технический прогресс второй половины XX в. позволил на новом уровне реализовать идеи КВП. Наше предприятие оказалось в центре практической реализации этих идей.

К наиболее значимой продукции этого профиля следует отнести малый десантный корабль (МДК) на воздушной подушке пр. 1232.1 «Джейран» и МДК пр. 1232.2 «Зубр». Оба проекта разработаны АО «ЦМКБ «Алмаз». Опытный МДК «Джейран» был построен заводом и передан ВМФ в 1970 г. Он может перевозить два средних танка со скоростью 50 уз и выходить на необорудованный берег.

В 1978 г. создатели КВП типов «Джейран», «Скат» и «Кальмар» были удостоены звания лауреатов Государственной премии, среди них – главный конструктор Л. В. Озимов и монтажник гибких ограждений Н. Д. Елисеев. В 1970–1985 гг. по проектам «Джейран»,



Малый ракетный корабль пр. 12341 «Овод»

ся на заводе ПСКР типа «Тарантул» пр. 205П. Строительство ПСКР «Светляк» также было поручено нашему заводу. Первый ПСКР типа «Светляк» был сдан морским пограничникам в 1992 г.

и начальник цеха М. С. Каримова. Высокие модернизационные возможности, заложенные в пр. 10410, позволяют кораблям этого типа и сегодня выполнять задачи, стоящие перед ними. Не случайно морские пограничники продолжают заказывать ПСКР пр. 10410, внося необходимые улучшения в каждый последующий заказ. Всего в XXI в. СФ «Алмаз» построила восемь ПСКР типа «Светляк». Кроме того, на экспорт во Вьетнам и Словению было построено еще пять кораблей. Сегодня ведется строительство еще четырех ПСКР пр. 10410 «Светляк».

Начало XXI в. ознаменовалось в жизни нашего предприятия победой в конкурсе на строительство малого артиллерийского корабля (МАК) для Каспийской флотилии. Проект этого МАК под номером 21630 и шифром «Буян» был разработан Зеленодольским ПКБ. Несмотря на сравнительно малое водоизмещение (520 т), корабль насыщен вооружением. Кроме того, учитывая условия эксплуатации в мелководных районах Каспия, на нем была применена водометная движительная установка. Такая установка мощностью 5880 кВт



Малый десантный корабль на воздушной подушке пр. 12322 «Зубр»

«Скат», «Кальмар» предприятие построило 26 ед.

В 1988 г. предприятие передало ВМФ самый крупный в мире КВП пр. 1232.2 «Зубр». Этот корабль может перевозить три средних танка со скоростью 60 уз и выходить на необорудованный берег. Для отечественного ВМФ нашим заводом было построено 5 МДК типа «Зубр». Уникальность и технические характеристики, превышающие лучшие зарубежные аналоги, побудили ВМФ Греции на рубеже XX–XXI вв. заказать нашему предприятию три МДК типа «Зубр». Контракт на их поставку был успешно завершён в 2004 г.

В конце 1980-х гг. ЦМКБ «Алмаз» под руководством главного конструктора К. Ж. Аванесова разработало пр. 10410 сторожевого пограничного корабля (ПСКР) «Светляк». Он предназначался для замены строившихся

В XX в. предприятие построило семь кораблей этого типа.

Создание ПСКР типа «Светляк» за их высокие боевые и эксплуатационные качества отмечено Премией Правительства РФ. Лауреатами от нашей фирмы стали строитель И. В. Чижов



Пограничный сторожевой корабль пр. 10410 «Светляк»

создавалась у нас впервые и устанавливалась на корабле без стендовых испытаний. ПАО «СФ «Алмаз» справилось с поставленными перед ним задачами и в 2006 г. сдало ВМФ головной МАК пр.21630 «Астрахань», а в 2011 и 2012 гг. серийные корабли «Волгодонск» и «Махачкала».

Работа по созданию МАК пр. 21630 типа «Буян» в 2009 г. была отмечена Премией Правительства РФ. Среди лауреатов – бывший главный инженер – технический директор «СФ «Алмаз» В. Г. Демченко и слесарь-монтажник С. А. Лозбенев. Надо отметить, что «платформа» этого проекта была использована в пр. 21631 малого ракетного корабля – носителя ракет «Калибр», успешно поразивших в 2017 г. цели в Сирии из акватории Каспийского моря.

Продолжая активно участвовать в оснащении морских пограничников современными сторожевыми кораблями, СФ «Алмаз» в 2007 г. выиграла тендер на строительство ПСКР нового поколения типа «Охотник» пр. 22460, разработанного Северным ПКБ под руководством главного конструктора А. Ю. Наумова. От ПСКР пр. 10410 этот корабль отличается увеличенной дальностью плавания и автономностью, улучшенными бытовыми условиями и возможностью существенного увеличения контролируемой зоны с помощью легкого вертолета или беспилотного летательного аппарата, для чего в корме предусмотрена специальная площадка. Головной ПСКР пр. 22460, получивший имя «Рубин», был заложен на СФ «Алмаз» 3 сентября 2007 г. и 14 ноября 2009 г. Государственной комиссией принят в состав сил Береговой охраны Пограничной службы ФСБ России. В 2015 г. работа по созданию ПСКР типа «Охотник» пр. 22460 отмечена Премией Правительства РФ. В числе награжденных – главный конструктор проекта А. Ю. Наумов, начальник Технического управления – зам. главного инженера ПАО «СФ «Алмаз» (на тот момент) И. М. Мухутдинов, сборщик корпусов О. Н. Измайлов, мастер С. А. Калашни-



Малые артиллерийские корабли пр. 21630 «Буян»

ков, слесарь-монтажник И. А. Скитер. Во время службы на Черном море ПСКР «Рубин» выпала честь нести охрану морской государственной границы РФ при проведении зимней Олимпиады 2014 г. в районе г. Сочи. В 2018 г. ПСКР «Жемчуг» пр.22460 участвовал в задержании украинских катеров, нарушивших границу РФ в районе Керченского моста. ПАО «СФ «Алмаз» построено одиннадцать ПСКР пр. 22460.

днищевых interceptоров, позволяющих существенно повысить скорость и мореходность. «СФ «Алмаз» за счет своих оборотных средств решила финансировать разработку проекта «Соболь» и вести его строительство. В 2006 г. к этой работе подключилась Пограничная служба ФСБ РФ, и в декабре 2006 г. головной катер был передан заказчику в опытную эксплуатацию на Черном море в районе г. Сочи. Впервые катер



Пограничный сторожевой корабль пр. 22460 «Охотник»

Верное чувству нового, руководство ПАО «СФ «Алмаз» увидело в разработанном в 2003 г. предложении ЦМКБ «Алмаз» проекта скоростного патрульного катера «Соболь» (пр. 12200) перспективу оснащения морских пограничников современными катерами. От своих собратьев он отличался наличием системы автоматически управляемых

водоизмещением около 60 т развил скорость 46 уз. По результатам опытной эксплуатации головного катера ПАО «СФ «Алмаз» в период 2006–2014 гг. построила двадцать патрульных катеров пр.12200 «Соболь». В создание этих катеров наряду с генеральным директором СФ «Алмаз» Л. Г. Грабовцем (на тот момент), главным конструктором АО «ЦМКБ «Алмаз» Б. А. Лейкисом, сотрудниками НПО «Аврора», «ЭРА», НПО «Горизонт», ЦНИИ АГ большой вклад внесли строители Б. Н. Тищенко, М. В. Дементьев, А. В. Старостин, технологи О. Ю. Юрьев, А. С. Водопьян и А. А. Завьялов, начальники механического производства В. А. Любешкин и П. П. Соколов. Строительство катеров этой серии продолжается.

Патрулирование и снабжение баз Морпогранохраны в регионе Дальнего Востока страны потребовало создания патрульного судна, пригодного для эксплуатации в ледовых условиях. Совместными усилиями Департамента Береговой



Пограничный патрульный катер пр. 12200 «Соболь»

охраны ФСБ РФ и ПАО «СФ «Алмаз» был переработан пр. 22120 таможенного судна «Пурга» для нужд морских пограничников. По этому проекту СФ «Алмаз» в 2010 г. построила судно, которому было присвоено имя «Контр-адмирал Е. С. Колчин». По результатам его эксплуатации на Дальнем Востоке проект был доработан, третье судно этого проекта «Камчатка», построенное в конце 2018 г., наиболее приспособлено к заданному району эксплуатации. В 2019 г. оно, как и первые два, перешло к месту своего постоянного базирования в г. Петропавловск-Камчатский Северным морским путем. На сегодняшний день ПАО «СФ «Алмаз» уже построило восемь ППК пр. 22120 и продолжает строительство серии кораблей данного проекта.

Начавшееся в XXI в. активное обновление корабельного состава ВМФ РФ потребовало строительства современного портового флота и флота обеспечения. В рамках решения этой задачи ЗАО «Спецсудопроект» по ТТЗ ВМФ разработало технический пр. 02690 плавкрана, одобренный ВМФ. В апреле 2013 г. между Министерством обороны РФ и ПАО «СФ «Алмаз» был заключен контракт на поставку девяти таких самоходных плавкранов. Сжатые сроки контракта потребовали привлечения к разработке рабочих чертежей крана сотрудников Технического управления (ТУ) ПАО «СФ «Алмаз». В 2013–2016 гг. все девять плавкранов были сданы ВМФ, и их успешная эксплуатация побудила ВМФ заказать СФ «Алмаз» еще серию из десяти плавкранов. К настоящему времени пять плавкранов серии уже переданы заказчику.

Из настоящей статьи видно, что СФ «Алмаз», внося свой достойный вклад в великое дело Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг., всю свою производственную деятельность в последующие годы вплоть до настоящего времени посвятила оснащению отечественного ВМФ современными кораблями. Всего за 90 лет своего существования фирма построила свыше 1200 катеров и кораблей. Сохраняя за собой освоенную нишу номенклатуры катеров и малых кораблей, «Алмаз» осваивает и новые типы продукции, что определяется задачами времени. Продолжая строительство ПСКР пр. 10410 «Светляк», фирма освоила и строительство патрульных судов ледового класса пр. 22120 «Пурга», плавкранов для вспомогательного флота ВМФ. В 2017 г. ПАО «СФ «Алмаз» заключило контракт на строительство ледокола пр. 21180М для ВМФ России и готовится в 2023 г. передать его заказчику. В ян-



Пограничное судно пр. 22120 «Пурга»



Плавкран пр. 02690



Мелкосидящий дизель-электрический ледокол пр. 21180М

варе 2023 г. заключен контракт на строительство первого серийного ледокола пр. 22180М.

ПАО «Судостроительная фирма «Алмаз», коллектив которого надо поздравить с юбилеем, полностью загружено заказами до 2027 г. и потому с уверенностью смотрит в будущее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Для защиты морских рубежей Отечества. К 85-летию СФ «Алмаз». – СПб.: Гуманитарика, 2018.
2. На стапелях под огнем. Сб. воспоминаний

и очерков. – Л.: Лениздат, 1986.

3. *Фокеев К. Ф.* Десант в Лиинахамари. – М.: Воениздат, 1968.
4. *Пиарев Д. Т.* На торпедных катерах. – М.: Воениздат, 1963.
5. *Тесленко А. М.* Катерники Черного моря. – Калуга, 2000.
6. *Чернышев И. П.* Катера уходят в балтийскую ночь. – М.: ДОСААФ, 1979.
7. *Чернышев И. П.* О друзьях – товарищах. – Л.: Лениздат, 1981.
8. ЦВМА. Ф.13. Оп. 71. Д.181, 184,312, 784, 1199.
9. *Бирюк В. С.* Всегда впереди. Малые охотники в войне на Черном море. 1941–1944. – СПб.: Наука, 2005. ■

Цифровизация промышленных предприятий – актуальная на сегодняшний день тема, которая знаменует вступление в новую эпоху индустриализации [1]. В основе внедрения новых технологий лежит стремление к комплексному повышению эффективности и созданию условий для успешной работы предприятия.

Актуальность цифровой трансформации на судостроительном предприятии обусловлена проблемой обработки больших объемов данных, возникающих в процессе строительства заказов и наличием баз данных об изделиях, оборудовании, процессах производства.

«Адмиралтейские верфи» находятся на стадии наращивания необходимых цифровых компетенций. Одним из этапов является автоматизация технологической подготовки трубообрабатывающего производства.

Автоматизация технологической подготовки производства предполагает выявление основных этапов и задач, решаемых на этих этапах, определение для каждой задачи состава входной и выходной информации и установление информационных связей между ними [2].

Состав данных в информационных массивах, необходимых для процесса проектирования, включает в себя предметно-ориентированные данные, предметно-независимые, характеризующие организацию предметно-ориентированных данных, и системные, характеризующие роль и место данных в системе технологического проектирования. К последним можно отнести текст текущего диалога при реализации взаимодействия пользователя с системой в интерактивном режиме. При включении диалога в процесс проектирования соответственно снижается степень автоматизации этого процесса.

Следующим основным моментом, влияющим на архитектуру системы технологической подготовки производства (ТПП), является форма взаимодействия пользователей с системой. Различают следующие факторы, характеризующие формы взаимодействия:

- пакетный или интерактивный режим;
- символьное или графическое представление информации;
- одно- или многопользовательский режим.

В пакетном режиме реализуется полностью автоматическое проектирование, которое предполагает задание определенных условий и вводных данных для выполнения. Входная

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ТРУБООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ И НОРМАТИВОВ ТРУДОЕМКОСТИ

*А.А. Веселов, ген. директор,
К.С. Рогозина, аспирант СПбГМТУ и СПбГУИТД,
инженер-конструктор 2-й категории, АО «Адмиралтейские верфи»,
контакт. тел. +7 (981) 975 2263, rogtina@icloud.com*

информация в таком случае должна быть задана полностью, даже если она в ходе проектирования будет использована частично.

В ходе интерактивного режима работы системы ТПП пользователь может вмешиваться в процесс проектирования и контролировать его выполнение. Этот аспект может быть отражен в архитектуре системы ТПП обеспечением итераций в процессе проектирования. При наличии графического диалога в системе ТПП, позволяющего наглядно представить проектные решения, необходимо, чтобы архитектура системы могла его использовать во всех задачах ТПП.

В многопользовательском режиме необходимо предусмотреть организацию информации, предоставляемой каждому пользователю, и защитить ее от преднамеренного разрушения.

После того как определен состав задач, подлежащих автоматизации, нужно определить состав информации, ее структуру и формы представления в системе ТПП (см. схему на стр. 48).

Обособленная организация и хранение информации приводят к тому, что эта информация может быть обработана вне процесса проектирования. Такое разделение процессов хранения и использования информации позволяет, с одной стороны, избежать дополнительных затрат на программирование хранения и выборки данных для каждой технологической задачи, с другой – обеспечить децентрализованную подготовку информации для ввода ее в информационные массивы.

При определении принципов организации информации в рамках ТПП следует учитывать следующие факторы:

- уровень автоматизации задач ТПП;
- существующую систему организации и хранения информации;

- степень оснащенности техническими средствами существующих процессов обработки информации;
- формы представления информации на соответствующих носителях;
- степень унификации представления информации в различных областях;
- структуру и класс изделий, подлежащих изготовлению;
- уровень квалификации обслуживающего персонала.

В качестве основных требований к архитектуре системы ТПП со стороны пользователей можно выделить необходимость определения:

- области применения, состава и класса решаемых задач;
- методов ТПП (с управлением ТПП, вариантное, адаптивное и новое планирование);
- формы взаимодействия;
- объема этапов проектирования – основные и (или) вспомогательные, комплексное решение;
- степени автоматизации – частично или полностью автоматический режим;
- гибкости или описания исходной информации (полное или определяемое заказом).

К ТПП предъявляются повышенные требования в условиях непрерывного удорожания средств производства, особенно с учетом тенденций в единичном и мелкосерийном производстве. Только полная и достоверная подготовка информации позволит обеспечить оптимальное использование средств производства на базе целенаправленной технологической подготовки.

Организация и накопление информации могут быть реализованы с помощью автоматизированных информационных систем, в которых

можно хранить информацию о средствах производства, вспомогательных средствах, внутривозвратных нормах времени, технологических процессах. Одним из резервов производства при технологическом проектировании является процесс оптимизации нормирования труда. Организация баз данных о технологической информации позволила бы осуществить кооперацию по проблемам нормативов времени с учетом степени важности выполняемого рабочего задания.

На кафедре Технологии судового машиностроения (ТСМ) Санкт-Петербургского государственного морского технического университета совместно с инженерными службами АО «Адмиралтейские верфи» разрабатываются для трубообрабатывающего и сборочно-сварочного производств базовые программные комплексы для реализации автоматизированного управления ТПП – так называемые процессоры технологической подготовки. Такие комплексы могут быть наделены дополнительными функциями, выходящими за рамки процесса управления технологической подготовкой. Это означает, что, ориентируясь на формирование базовых технологических карт, можно учитывать специфику предприятия и проводить дополнительные расчеты по определению норм времени и распределению материальных фондов.

Главной целью системы является высвобождение специалистов от ручных операций в процессе проектирования и ТПП, снижение стоимости работ на основе стандартизации, бы-

строго поиска и сокращения многообразия деталей, а также повышение их творческой активности при решении задач [3].

Такая система управления базами данных может быть использована для получения множества решений, основанных на специфических запросах пользователей, отражающих процесс формирования специализированных технологических карт и спецификаций. Эта так называемая система автоматического формирования технологических карт предназначена для диалогового формирования технологических карт и предварительного определения норм времени. Система может быть использована в условиях единичного и мелкосерийного производства.

На базе одноразового ввода информации, необходимой для производственного процесса, устанавливается последовательность обработки. Затем для каждого технологического процесса определяются требуемые характеристики, например, ориентировочное время выполнения. На рис. 1 показана принципиальная схема формирования технологической информации.

При подготовке трубообрабатывающего производства система может быть использована для выбора требуемого оборудования: станков, приспособлений и др. Кроме идентификации состояний, классификации, кодирования и поиска информации система позволяет проводить анализ, например, при проектировании новых изделий, определении капиталовложений

и других производственных задачах. Ее можно использовать в ручном проектировании. В системе реализуется диалоговый режим в форме запрос–ответ. Система включает четыре основные части:

- классификационный номер, позволяющий систематизировать детали в соответствии с их технологическими и конструктивными признаками;
- банк данных, содержащий описание конструкций и процессов их изготовления;
- программу обработки запросов, позволяющую осуществлять поиск чертежей, сопроводительных карт, рабочих мест и др.;
- программу анализа, осуществляющую унификацию проектов, оптимальный выбор оборудования и технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Центр2М. Цифровизация промышленности. – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://center2m.ru>
2. Александров В.Л., Прелыгин А.В., Соколов В.Ф. Судостроительное предприятие в условиях рынка. – СПб.: Судостроение, 2003. – 165 с.
3. Рогозина К.С. Анализ критериев механизации и автоматизации производственных процессов//Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Спец.вып.2. – С.282–286.
4. Веселов А.А., Горелик Б.А., Фрумен А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводных бесшовных соединений методом конечных элементов//Морской вестник.–2014.–№1(49).– С.103–104. ■

ВВЕДЕНИЕ

Повсеместное применение программно-управляемого оборудования (ЧПУ-станков) в процессах проектирования изделий машиностроения (на этапе их натурного прототипирования) и их промышленного производства, а также неослабевающий рост требований к эффективности этих процессов влекут за собой необходимость совершенствования профессиональных компетенций инженерных и рабочих кадров в предметной области применения ЧПУ-оборудования и в том числе его программного сопровождения [1, 2].

Как правило, большинство функций программного сопровождения проектных и производственных машиностроительных процессов сосредоточено в интегрированных САПР, сочетающих функции САД, САЕ и САМ-систем, их

УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ С ЧПУ

*А.Е. Васильев, д-р техн. наук, зав. кафедрой ТСМ,
В.Д. Ковалёв, лаборант,
Д.Е. Кунгурцев, лаборант,
С.А. Токаренко, лаборант,
А.В. Шерстнёв, канд. техн. наук, зав. базовой кафедрой, СПбГМТУ,
контакт. тел. (812) 713 8405*

модулей и их элементов [3, 4]. В данной публикации речь пойдет о модулях генерации командных последовательностей, определяющих работу исполнительных органов ЧПУ-оборудования при изготовлении деталей (управляющих программ, или УП).

МЕТОДЫ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ЧПУ-ОБОРУДОВАНИЯ

Подавляющее большинство современных интегрированных машиностроительных САПР обладают высокой сте-

пению не только автоматизации, но и интеллектуализации модулей, выполняющих генерацию УП [5, 6]. Следует отметить, что подобная генерация УП для ЧПУ-оборудования, как и любой автоматизированный процесс, имеет значительное количество недоступных для прямого наблюдения и воздействия оператора стадий [7], закрытость которых приводит к искусственным барьерам в приобретении и развитии обучающимися указанных выше профессиональных компетенций [8]. Альтернативой сказанному выше является ручной принцип разработки УП [9], применение которого в силу высокой трудоемкости (закрывающейся в необходимости выполнения значительного количества подготовительных действий и свободного владения всей номенклатурой команд УП и их синтаксисом), а также в силу ограниченных возможностей верификации разработанной таким способом программы (и, следовательно, ее применимости и эффективности) может привести к снижению мотивации обучающихся [10–12].

Известны также комбинированные подходы, основанные на сочетанном применении двух указанных основных принципов (в частности, специализированные редакторы текстов УП, средства контекстной помощи, симуляторы исполнения и т.п.) [13, 14], которые, наряду с достоинствами означенных выше принципов, характеризуются и синергией их недостатков.

Таким образом, процесс обучения профессиональных кадров методам и средствам разработки УП сопровождается методологической проблемой, заключающейся в недостаточно выраженной результативности применения любой из имеющихся педагогических альтернатив.

ОБУЧЕНИЕ РАЗРАБОТКЕ УП В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРЕНАЖЕРНОЙ CAD/CAM-СИСТЕМЫ

Авторами предлагается новый подход к организации процесса подготовки профессиональных кадров с целью формирования и развития компетенций разработчиков УП для оборудования с ЧПУ. Суть подхода заключается в том, что перед обучающимися ставится учебная задача разработать собственные машиностроительные САПР, в число функциональных возможностей которых непременно должна входить возможность генерации УП. Таким образом, УП воспринимается обучающимися как элемент единого цикла разработки, отладки и изготовления изделия, что повышает системность усвоения всей совокупности учебных дисциплин. Знания о синтаксисе команд УП и диапазонах значений их операндов

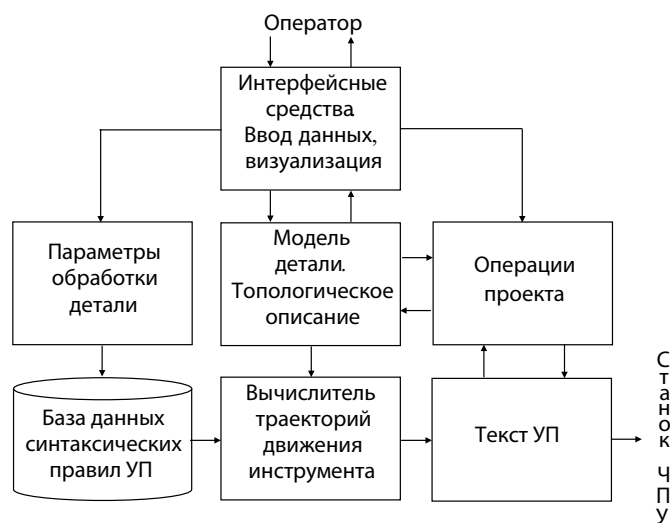


Рис. 1. Обобщенная структура учебно-тренажерной САПР

более не являются фактологическим обременением памяти разработчика, а представляют собой онтологическую базу, которую разработчик должен создать, формализовать в виде структур данных и обеспечить к ней доступ создаваемой им САПР.

Принципиальное отличие формулируемых здесь задач от задач разработки специализированных САПР для научных исследований и промышленного применения [15–17] заключается в образовательной цели разработки, в существенно более узком наборе функциональных возможностей и в отсутствии необходимости доведения учебной САПР до стадии передачи в промышленную эксплуатацию, что обеспечивает меньшую трудоемкость разработки такой САПР.

При реализации данного подхода обучающиеся освобождаются от необходимости следовать готовой схеме действий, связанной с разработкой конкретной УП, реализующей один из predeterminedных учебным заданием вариантов управления станком с ЧПУ (например, фрезерование заготовки заданного контура с определяемыми номером этого варианта размерами [18]), что, естественно, уже изначально ограничивало бы развитие творческого потенциала обучаемых. Напротив, каждому из них намеренно назначается роль разработчика САПР; количество ограничений при создании собственной микро-САПР минимально: в основном – это временные ограничения – установленная продолжительность лабораторного практикума. Немаловажен в этом случае и аспект конструктивной соревновательной деятельности обучаемых: чья САПР окажется лидером по предоставляемым ею пользовательским возможностям и качеству их реализации.

Обучаемые попеременно исполняют роль и создателя САПР, и ее пользо-

вателя, что позволяет дополнительно осознать ответственность разработчика перед потребителями результатов его деятельности, что является фундаментальным по значимости во всех областях инженерного дела.

Обобщенная структурно-функциональная схема САПР, предлагаемой обучаемому к разработке в ходе лабораторного практикума, показана на рис. 1.

С помощью предложенных самим обучаемым интерфейсных средств оператор САПР будет осуществлять ввод в систему параметров детали (в том числе топологических и размерных) и параметров применяемого инструмента. Вводимая оператором информация преобразуется во внутреннее описание («модель») детали, которое может быть сохранено в виде файла, при необходимости изменено, распечатано и т.п.

В процессе генерации УП для каждого элемента модели детали, описывающего топологию ее поверхности, модулем вычислителя траекторий производится соответствующая команда УП, задающая перемещения инструмента, значения операндов которой определяются ее синтаксисом, а также параметрами топологии участка детали и инструмента, применяемого для его формирования.

ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ УЧЕБНО-ТРЕНАЖЕРНЫХ СРЕДСТВ

Под руководством авторов представителями студенческого коллектива кафедры технологии судового машиностроения факультета корабельной энергетики и автоматики СПбГМТУ в экспериментальных целях был разработан ряд вариантов описанной выше учебной САПР. Внешний вид варианта такой САПР, обеспечивающей генерацию УП для фрезерных станков по введенному оператором контуру детали, показан на рис. 2.

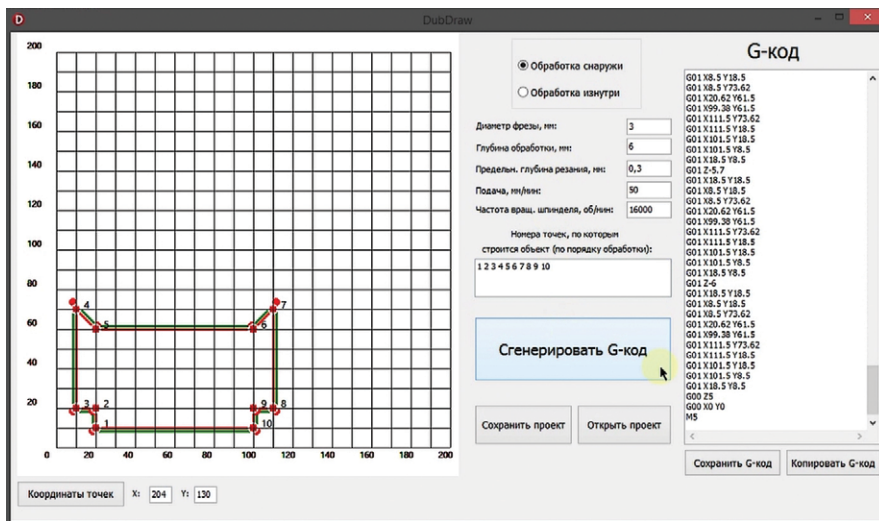


Рис. 2. Внешний вид варианта учебной САПР для генерации УП

В предложенной студенческой версии САПР контур детали поэлементно задается оператором на координатном поле с помощью манипулятора «мышь», при этом очередной задаваемый элемент контура фиксируется в модели детали, после чего она заново визуализируется (см. рис. 2, слева). По окончании ввода контура оператором задаются значения параметров обработки (см. рис. 2, по центру), после чего генерируется код УП (см. рис. 2, справа). Далее УП передается на станок, что позволяет овеществить проект, что фундаментально важно для любой области инженерного дела (рис. 3).

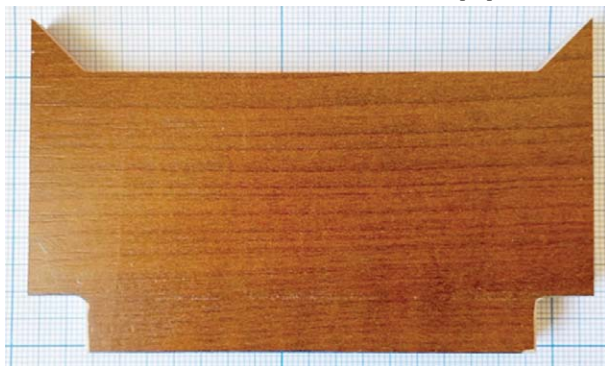


Рис. 3. Деталь, изготовленная по сгенерированной УП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые авторами методы и средства изучения управляющих программ для оборудования с ЧПУ посредством разработки учебно-тренажерных САПР, несмотря на несколько увеличенную в сравнении с традиционными подходами трудоемкость, потенциально позволяют значительно повысить качество подготовки профессиональных кадров, а также внести вклад в интенсификацию столь важных для отечественной индустрии процессов импортозамещения и импортоопережения.

Авторы выражают признательность студентам кафедры ТСМ П.В. Дубровскому и А.В.Кудрявцеву за участие в эк-

спериментальных разработках и исследованиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Приказ Минтруда РФ от 2 июля 2019 г. № 463н «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист по автоматизированной разработке технологий и программ для станков с числовым программным управлением»» – Электронный ресурс, URL: <https://docs.cntd.ru/document/560761994?marker=65001L> Дата обращения 21.06.2023.
2. Кочергин В.С., Привалов Э.Н. Современные методики преподавания САПР в высших учебных заведениях машиностроительного профиля. – Сб. ст. Международ. конф. «Образование. Наука. Карьера», 2018, с.228–232.
3. Муленко В.В. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении. – М.: Изд-во Губкинского ун-та, 2015. – 73 с.
4. Кравченко И.И., Бухаров С.В. Анализ средств автоматизации программирования оборудования, оптимизация последовательности обработки поверхностей сложных корпусных деталей // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2018. – №7. – С.31–47.
5. Аносов М.С., Кабалдин Ю.Г., Шатагин Д.А., Кретинин О.В., Мансуров Р.Ш., Сорокин С.Б. Основы разработки управляющих программ для станков с ЧПУ. – Н.Новгород: Изд-во НГТУ, 2021. – 139 с.
6. Михалёв О.Н., Яношкин А.С. Модуль ин-

теллектуальной обработки САМ-системы // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Т.21. – №3. – С.28–41.

7. Щёкин А.В. Особенности наследования информации в задачах интеграции систем технической подготовки производства // Онтология проектирования, 2020. – Т.10. – № 2(36). – С.201–217.
8. Коновалов В.И., Коновалова А.А. О применении САД/САМ/САЕ пакетов при подготовке студентов по УГСН 22.00.00 «Технология материалов» и 15.00.00 «Машиностроение». – Сб. ст. Всеросс. конф. «Цифровой университет: совершенствование организации обучения и стратегия развития образования в условиях цифровизации», 2023, с.176–181.
9. Калякулин С.Ю., Кудяев С.П. Использование информационных технологий для изучения программирования станков с ЧПУ // Наука. Общество. Оборона. – 2018. – № 3 (16). – С.6.
10. Волкова Е.Н., Скитневская Л.В., Морева А.Н. Увлеченность программированием: к определению статуса и содержания понятия // Вестник Мининского ун-та, 2023. – Т.11. – №1(42). – С.9.
11. Волкова Е.Н., Исаева О.М., Морева А.Н. Внутренняя мотивация деятельности современной молодежи как условие высоких достижений в сфере программирования // Вестник Мининского ун-та. – 2022. – Т.10. – №22. – С.11.
12. Пирогов В. Ю. Обучение программированию в высшей школе – проблемы и решения // Мир науки. Педагогика и психология. – 2022. – Т.10. – №6. – URL: <https://mir-nauki.com/PDF/33PDMN622.pdf> Дата обращения 21.06.2023.
13. Станкова А.А., Исаев А.Н. Обучение студентов технического ВУЗа работе на симуляторах станков с ЧПУ. – Сб. мат-лов 69-й Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием, 2016, с.951–955.
14. Petukhov A.V. Implementation of integrated design systems in the learning process // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – №1. – С.71–75.
15. Вержаковская М.А., Аронов В.Ю., Слепнев А.А. Разработка постпроцессора для оптимизации работы на станках с числовым программным управлением // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2019. – Т.11. – №2. – С.40–50.
16. Черданцев А.О., Афанасьева А.Е. Разработка специализированной САМ-системы изготовления деталей типа «эксцентриковый вал» на фрезерных обрабатывающих центрах. – Сб. мат-лов XIX Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Наука и молодежь», 2022, с.65–67.
17. Сарин А.С., Сухенко П.А. Программа для токарной и фрезерной обработки детали типа рестриктор для цифровых производственных систем // Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ №2023662352. Оpubл. 07.06.2023. // Бюлл.№6.
18. Пайвин А.С., Чикова О.А. Основы программирования станков с ЧПУ. – Екатеринбург: Изд-во УГПУ, 2015. – 102 с. ■

19 июня 2023 г. в АО «Средне-Невский судостроительный завод» в Санкт-Петербурге состоялась торжественная церемония закладки корабля противоминной обороны (базового тральщика) «Дмитрий Лысов» пр.12700 (зав.№ 531). Это одиннадцатый в серии корабль проекта «Александрит» для Военно-Морского Флота Российской Федерации.

В мероприятии приняли участие Главнокомандующий ВМФ Российской Федерации адмирал Николай Евменов, первый заместитель Председателя комитета Государственной Думы по контролю Михаил Романов, заместитель генерального директора АО «ОСК» по военному кораблестроению Владимир Королев, главный советник генерального директора АО «ОСК» Виктор Чирков, генеральный директор АО «СНСЗ» Владимир Середохо, главный инженер (с июля 2023 г. – генеральный директор) АО «Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз» Константин Голубев.

Новый тральщик получил имя капитан-лейтенанта Дмитрия Алексеевича Лысова (1918–1944), командира тральщика Т-120 Северного флота, героически погибшего вместе со своим кораблем 24 сентября 1944 г. Ранее в ВМФ СССР и России это имя носили уже три тральщика: пр. 53У (1949–1961 гг.), пр. 254 (1963–1972 г.) и пр. 266М (1972–1998 гг.).

В приветственном выступлении на митинге Владимир Королев отметил, что «Средне-Невский судостроительный завод сегодня является одним из ведущих предприятий судостроительной отрасли страны. За столетие завод стал высокотехнологичным и одним из самых крупных в России». По его словам, сегодня заводчане освоили серийную постройку кораблей противоминной обороны нового поколения, с современным гидроакустическим и навигационным оборудованием, вооружением и новейшим противоминным комплексом. Корабли пр. 12700 относятся к поколению минно-тральных сил, предназначенных для борьбы в ближней морской зоне. Они могут применять различные виды буксируемых тралов, а также телеуправляемые и автономные необитаемые противоминные подводные аппараты.

Морские тральщики этого проекта имеют самый большой в мире корпус из монолитного стеклопластика, сформированного методом вакуумной инфузии. Масса такого корпуса меньше металлического, при этом его прочность значительно выше. Корпус не подвергается коррозии, а срок службы при соблюдении эксплуатаци-

НА СРЕДНЕ-НЕВСКОМ СУДОСТРОИТЕЛЬНОМ ЗАВОДЕ ЗАЛОЖЕН КОРАБЛЬ ПРОТИВОМИННОЙ ОБОРОНЫ «ДМИТРИЙ ЛЫСОВ»

*Пресс-центр АО «Средне-Невский судостроительный завод»,
контакт. тел. (812) 648 3050*



Закладная доска базового тральщика «Дмитрий Лысов»

онных норм не ограничен. При строительстве данных кораблей специалистами завода применяются новейшие российские технологии, не имеющие аналогов в мировом судостроении.

Водоизмещение кораблей проекта «Александрит» составляет около 890 т, длина – около 62 м, ширина – около 10 м, полная скорость хода – около 16 уз, экипаж – 44 человека.

АО «Средне-Невский судостроительный завод» – лидер композитного судостроения в России и единственное в стране предприятие, ос-

воившее строительство кораблей и судов из четырех видов материалов: композита, судостроительной, маломагнитной стали, алюминиево-магниевого сплава. Предприятие владеет современной технологией изготовления конструкций из композитных материалов методом вакуумной инфузии. За более чем 100 лет работы Средне-Невским судостроительным заводом построено более 500 кораблей и судов, из них более 200 единиц – это морские и рейдовые тральщики различных проектов, в том числе поставленные на экспорт в 13 стран мира. С 1937 г. завод по существу является монополистом в строительстве отечественных кораблей противоминной обороны.

Корабли пр. 12700 «Александрит» разработаны в АО «Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз» и предназначены для борьбы с современными морскими якорными и донными минами.

Как предполагается, новый корабль после окончания строительства войдет в состав Северного флота. ■



На митинге по случаю закладки корабля. Выступает генеральный директор СНСЗ В.А. Середохо

Виктор Сергеевич Татарский родился 29 августа 1943 г. в Архангельске. По окончании семи классов средней школы г. Отрадный Кировского района Ленинградской области в 1957 г. поступил в Ленинградский приборостроительный техникум. Окончил его в 1961 г. и по распределению был направлен в качестве техника-конструктора в п/я 25 в Арзамасе. В 1962 г. Виктор Сергеевич вернулся в Ленинград и поступил судовым электромонтажником 1-го разряда в цех № 9 предприятия «ЭРА», базирующегося на Средне-Невском судостроительном заводе. Через два года его переводят на должность и.о. мастера в цех № 7 «ЭРА» на ПО «Алмаз». Последующие 18 лет он участвовал в строительстве и сдаче практически всех построенных в тот период заказов. Сдаточные объекты сменяли один другого, работа становилась интереснее и ответственнее. Менялись и должности: мастер, старший мастер, начальник участка, зам. начальника цеха по производству, но суть работы оставалась прежней: он – ответственный сдатчик.

Исключительное трудолюбие, техническая грамотность, целеустремленность и ответственность всегда отличали Виктора Сергеевича как ведущего специалиста предприятия. Понимая, что базовых знаний среднетехнического образования и накопленного практического опыта уже недостаточно для решения все более усложняющихся производственных задач, он в 1980 г. поступает на вечерне-заочное отделение Северо-Западного политехнического института на специальность инженер-электрик. Закончив его в 1986 г., продолжает обучение без отрыва от производства по ускоренной программе в Ленинградском финансово-экономическом институте им. Н. А. Вознесенского по специальности экономист и заканчивает его в 1990 г.

В 1983 г. Виктор Сергеевич переводится в Управление «ЭРБ» на должность начальника плано-диспетчерского отдела, затем заместителя начальника плано-производственного отдела. В 1984 г. становится заместителем генерального директора предприятия «ЭРА» по коммерческим вопросам (с 1994 г. – коммерческий директор АО «ЭРА»). Основной задачей его было обеспечение материалами, оборудованием и прежде всего кабелем производственной программы всего предприятия. В условиях плановой экономики материально-техническое обеспечение отрасли было отлажено и работало как часы. Но с приходом 90-х все изменилось. Это были непротые годы в жизни и страны, и пред-

В.С. ТАТАРСКОМУ - 80 ЛЕТ

АО «ЭлектроРадиоАвтоматика»,
контакт.тел. (812)571 5793, (812)571 3919



приятия – смена общественно-политической системы, развал экономики, как следствие, развал судостроительной отрасли и сложившейся отраслевой кооперации, зарождение и становление рыночной экономики, приватизация. Исключительно к личным заслугам В. С. Татарского можно отнести сохранение производственных мощностей предприятия в период приватизации, когда выполнение его основных функций – судовых электромонтажных работ при строительстве гражданского и военно-морского флота РФ – оказалось под угрозой.

В 1998 г. В. С. Татарского избирают генеральным директором АО «ЭРА» (с 2001 г. – АО «ЭлектроРадиоАвтоматика»), и с тех пор он стоит у руля предприятия уже 25 лет.

Полный трудовой стаж Виктора Сергеевича – 62 года, из них 61 год он посвятил своему любимому делу – созданию электротехнической части корабля и родному предприятию. Пройдя путь от электромонтажника до генерального директора, Виктор Сергеевич сумел сформировать производственный коллектив, способный выполнять практически любую задачу.

Сегодня АО «ЭРА» – это современное динамично развивающееся электромонтажное предприятие численностью более 1450 человек, основным направлением деятельности которого является выполнение полного комплекса работ и поставок по электротехнической специализации на строящиеся

суда и корабли. С каждым годом увеличивается насыщение кораблей различными управляющими системами, радиоэлектроникой, однако предприятие успешно справляется с планами, благодаря гибкой производственной структуре, основу которой составляют электромонтажные подразделения – филиалы, базирующиеся на ведущих судостроительных заводах Петербурга и Северо-Западного региона (Адмиралтейские верфи, Балтийский завод, Выборгский судостроительный завод, Северная верфь, Средне-Невский судостроительный завод, СФ «Алмаз»). Такая структура позволяет оперативно маневрировать материальными и трудовыми ресурсами, концентрируя их в нужном месте, в нужное время на любом судостроительном заводе, на любом заказе.

За значительный личный вклад в развитие отечественного судостроения В. С. Татарский удостоен рядом государственных и отраслевых наград, в том числе орденом «Трудового Красного Знамени» (1975), медалью «300 лет Российскому флоту» (1996), медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» 2-й степени (1999), орденом Морского Собрания «За заслуги» (2002), а также медалями «Столетие подводных сил России» (2005), «Адмирал Горшков» (2007), Памятной медалью к 150-летию НТО судостроителей им. акад. А. Н. Крылова (2016). В 2003 г. ему присвоено звание «Почетный судостроитель», в 2013 г. вручен нагрудный знак Адмиралтейского района «За заслуги».

Неоднократно В. С. Татарского награждали грамотами и благодарностями Минпромторга РФ, губернатора Санкт-Петербурга, Законодательного собрания Петербурга.

За долготелый и безупречный труд В. С. Татарскому присвоены звания «Ветеран труда предприятия» (1988) и «Заслуженный ветеран труда предприятия» (1996), памятные знаки ОАО «ЭРА» «За добросовестный труд» (2002) и «100 лет ЭРА» (2022).

Коллектив АО «ЭРА» поздравляет Виктора Сергеевича с 80-летием и желает ему здоровья и дальнейших производственных успехов.

Редсовет, редколлегия и редакция журнала «Морской вестник» присоединяются к этим поздравлениям и желают юбиляру творческого долголетия. ■

АО «Компрессор» – единственный в стране разработчик и изготовитель специализированного компрессорного и газового оборудования для кораблей и судов всех типов и назначений, а также для многих других отраслей, в том числе:

- специальные компрессорные станции для нужд ВМФ;
- установки для очистки и глубокой осушки сжатого воздуха;
- холодильные установки;
- компрессоры пускового и рабочего воздуха для гражданских судов;
- специальная компрессорная техника для ракетных комплексов войск стратегического назначения и ПВО;
- комплексы компрессорного оборудования и систем для хранения, распределения газов для космодромов, обеспечивающих запуск ракет-носителей;
- компрессоры и компрессорное оборудование для энергетического комплекса и атомной энергетики;
- винтовые компрессорные установки для РЖД;
- компрессоры буферного газа для газовой промышленности;
- установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа;
- приборы автоматического управления с приемкой ВП МО РФ;
- приборы измерения и контроля параметров сжатого воздуха.

География поставок: Россия, страны СНГ, Германия, Финляндия, Норвегия, Индия, Иран, КНР, Корея, Алжир, Ливия, ОАЭ, Куба и др.

Предприятие имеет конструкторское бюро, в котором работают высококвалифицированные специалисты, и производственную базу для создания современного наукоемкого оборудования, а также развитую сеть представительств службы сервисного и гарантийного обслуживания для обеспечения полного жизненного цикла изделий.

Приоритетом развития российского судостроения в нынешних геополитических и экономических условиях является решение ключевой проблемы отрасли – обеспечение судостроительных и судоремонтных предприятий судовым комплектующим оборудованием. Наиболее приемлемым с точки зрения судостроительных и судоремонтных предприятий является импортозамещение оборудования с получением отечественного аналога, имеющего идентичные габаритные и присоединительные размеры, с внедрением автоматики с доступной компонентной базой и КИП, позволяющей интегрировать оборудование в судовые системы и модернизировать его в будущем.

СУДОВЫЕ ИНСИНЕРАТОРЫ ДЛЯ КОРАБЛЕЙ ВМФ И ГРАЖДАНСКОГО ФЛОТА

*Л.Г. Кузнецов, д-р техн. наук, проф., ген. конструктор,
А.В. Бураков, начальник ЦКБ,
Р.И. Демидюк, начальник отдела,
В.С. Канев, инженер,
С.Ю. Титова, вед. инженер,
Д.В. Балакшина, инженер, АО «Компрессор»,
контакт. тел. (812) 295 5090*

АО «Компрессор» имеет богатый опыт разработки и импортозамещения нестандартного судового комплектующего оборудования (автоматизированные системы пневмообмыва корпуса судна, мембранные азотные установки, специальное оборудование для плавучих доков, приборы для контроля параметров сжатого воздуха).

Одной из сфер деятельности АО «Компрессор» является создание эффективного компрессорного оборудования для природоохранного оборудования [1], а также комплексов по переработке органических отходов [2] и адсорбционные установки для очистки, хранения отходов, образующихся при работе энергетического оборудования [3].

ТРЕБОВАНИЯ К СУДОВЫМ ИНСИНЕРАТОРАМ

Предотвращение загрязнения морской среды вредными веществами, перевозимыми на судах или образующихся в процессе их эксплуатации, – одна из приоритетных задач и достигается она снижением или исключением незаконных сбросов судовых отходов в море.

Современные морские суда представляют собой сложные плавучие сооружения, предназначенные для перевозки грузов и пассажиров, а также для выполнения функций в зависимости от своего назначения. В процессе эксплуатации судов образуются бытовые и производственные отходы, сброс которых в море наносит значительный ущерб окружающей среде. Все судовые отходы можно разделить на две основные группы:

- 1) загрязнения, образующиеся в результате жизнедеятельности экипажа и пассажиров и эксплуатации судовых механизмов;
- 2) отходы перевозимых грузов, образующиеся вследствие неполной их выгрузки, обмыва палубы, трюмов, танков и т.д.

К загрязнениям первой группы относятся:

- хозяйственно-бытовые и сточные воды;
- твердые отходы;

- нефтесодержащие льяльные воды;
- нефтесодержащие твердые отходы;
- нефтешламы;
- отработанные масла.

К загрязнением второй группы относятся:

- остатки грузов;
- остатки сепарационных материалов и крепежа;
- нефтесодержащие балластные и промывочные воды.

Кроме того, на судах могут накапливаться загрязнения, образованные в результате обработки различных видов судовых отходов на специальных судовых установках: шлам из установки очистки сточных вод, нефтесодержащие остатки, образованные при зачистке резервуаров с топливом, отходы от сепарации топлива и масла, осадки из топливных и масляных фильтров, отработанные фильтрующие элементы. Все эти материалы в случае поступления в окружающую среду без переработки приводят к ее загрязнению, которое может иметь необратимый характер.

Правила по предотвращению загрязнения среды с судов, охватывающие различные источники загрязнения, содержатся в Приложениях к Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов (МАРПОЛ 73/78), принятой в 1973 г. и измененной Протоколом 1978 г. [4].

Для соблюдения правила статьи 17 Конвенции [4] суда в дополнение к танкам для нефтесодержащих осадков могут быть оборудованы следующими средствами удаления нефтяных остатков (нефтесодержащих осадков):

- инсинераторы;
- вспомогательные котлы, пригодные для сжигания нефтяных остатков;
- танки для смешивания нефтяных остатков с жидким топливом.

Также в соответствии с требованиями «Правил по предотвращению загрязнения с судов» Российского морского регистра судоходства (РМРС) на каждом судне должен быть предусмотрен один из следующих видов оборудования для предотвращения загрязнения моря мусором:

- емкости для сбора мусора;

- устройства для измельчения или прессования мусора;
- инсинераторы.

Использование оборудования для обработки мусора дает возможность сброса части его в тех районах, где сброс запрещен; снижает уровень требований к помещениям для хранения мусора; облегчает выгрузку мусора в порту для сдачи на приемные сооружения; ускоряет поглощение мусора морской средой.

Для судов, оснащенных природоохранным оборудованием и использующих его для утилизации всех видов судовых отходов и загрязнений, к ставкам экологического сбора применяется понижающий коэффициент.

Судовые инсинераторы являются наиболее практичным из упомянутых видов оборудования, так как позволяют обезвреживать и нефтяные остатки, и твердые отходы. Особенно актуально применение инсинераторов на судах, совершающих длительные рейсы и не имеющих возможности регулярно сдавать отходы соответствующим портовым службам.

Технические требования, касающиеся проектирования, изготовления, эксплуатационных характеристик, эксплуатации и испытания инсинераторов, мощность каждого блока которых составляет до 4000 кВт, предназначенных для сжигания мусора и других отходов на борту судна, регламентируются нормативным документом «Стандартные технические требования к судовым инсинераторам», одобренным резолюцией МЕРС. 244(66) от 4 апреля 2014 г. [5]

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ СУДОВЫХ ИНСИНЕРАТОРОВ

На основании анализа материалов, приведенных в работах [6–8], на рынке в настоящее время представлены иностранные судовые инсинераторы фирм Detegasa (Испания), TeamTec (Норвегия), Atlas (Дания), Hansun (Китай), которые отличаются по мощности, конструктивному исполнению и выполняемым функциям (рис. 1–4). ПГ «Безопасные технологии» (Россия) разработала и выпускает судовой инсинератор



Рис. 1. Инсинератор Hansun HSINC-18



Рис. 2. Инсинератор TeamTec OG120C

нсинератор КТО-50.СИ, его номинальная производительность – 50 кг/ч [9], также в номенклатуре предприятия есть судовые инсинераторы СИ-200, СИ-400, СИ-800 большей мощности. Характеристики судовых инсинераторов приведены в табл. 1. На гражданском рынке также широко представлены различные инсинераторы для промышленного, медицинского, сельскохозяйственного и бытового назначения [10], применение которых в качестве судовых инсинераторов не представляется возможным в силу конструктивных особенностей и в связи с их особенностями, несоответствием международным требованиям [4, 5], и различным нормативным требованиям, поэтому в дальнейшем обзоре не рассматриваются.

При выборе инсинератора необходимо учитывать особенности эксплуатации и условия размещения на судне. В связи с автоматизацией большая часть современных судов имеет численность экипажа до 50 человек. Расчетная максимальная масса твердых отходов обычно принимается равной 2,5 кг на 1 чел./сут, т. е. для экипажа 50 человек масса равна 125 кг/сут. Для переработки такой массы отходов за рабочую смену – 5 часов – необходим инсинератор производительностью 25 кг/ч.

Таким образом, инсинератор производительностью 25 кг/ч по твердым отходам обеспечивает потребности большинства судов с экипажем не более 50 человек.



Рис. 3. Инсинератор Detegasa IRA-10



Рис. 4. Инсинератор Atlas 200S

Технические характеристики судовых инсинераторов

Таблица 1

Техническая характеристика	Наименование и обозначение инсинератора				
	TeamTec OG120C	Hansun HSINC-18	Detegasa IRA-10	Atlas 200S	СИ-200
Мощность камеры сжигания, ккал/ч (кВт)	180 000 (210)	180 000 (210)	100 000 (116)	180 000 (210)	200 000 (232)
Производительность по загрузке ТБО, кг/ч	26 кг/ загрузка	30 кг/ загрузка	25	19,5 кг/ загрузка	50
Производительность по загрузке шлама, л/ч	22 л/ч	22,5 кг/ч	–	–	32
Потребляемая мощность, кВт	8,0	7,0	6,0	11,0	20,0
Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	1033×1457×1836	1324×986×1910	1255×1015×1880	1509×2152×1628	1490×1102×1850
Вес, кг	1450	1500	1380	1600	1400

Многокамерность инсинератора улучшает качество сгорания отходов, но при этом увеличиваются его габаритные размеры, а также занимаемая площадь, что недопустимо для стесненных условий технических помещений кораблей и судов. Для однокамерных инсинераторов характерно следующее: при прямом сжигании газы, образующиеся при разложении органической части отходов, сгорают в той же камере, где происходит горение. В этой же камере образуется готовый к выгрузке зольный остаток. Скорость выгорания и образования дымовых газов при прямом сжигании является максимальной. Основным достоинством малогабаритных инсинераторов является возможность повысить тепловое напряжение топочного пространства, что позволяет снизить их энергопотребление и повысить эффективность за счет максимально полного использования теплоты, образующейся при сжигании.

РАЗРАБОТКА И ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИНСИНЕРАТОРОВ

Для обеспечения оперативного внедрения конкурентоспособных отечественных судовых инсинераторов АО «Компрессор» был создан научно-технический задел [1–3], за собственные средства разработана конструкторская и технологическая документация.

Для кораблей проектов 20380 и 20385 создан малогабаритный судовый инсинератор типа «Искра-10» для уничтожения твердых отходов [5] с приемкой РС (параметры приведены в табл. 2, внешний вид установки показан на рис. 5). В настоящее время продолжают работы по сертификации и разработке вариантов исполнений инсинераторов «Искра» со шламовой и топливной цистерной.

Для освоения серийного производства судовых инсинераторов на предпри-

ятии внедрены исследовательское оборудование и новые технологии получения и сборки огнестойких деталей и сборочных единиц, аттестованы специализированные стенды для испытаний на соответствие требованиям РМРС.

Созданный стенд (рис. 6) для испытаний судовых инсинераторов по назначению позволяет проводить проверку при работе в том числе в условиях крена и дифферента.

ВЫВОДЫ

Разработанный малогабаритный инсинератор «Искра-10» может заменить широко применяемые на судостроительных и судоремонтных предприятиях судовые инсинераторы иностранного производства, например Detegasa IRA-10 (Испания) и TeamTec OG120C (Норвегия), имеет идентичные им габаритные и присоединительные размеры, может устанавливаться на имеющиеся фундаменты, оборудован отечественной ав-



Рис. 5. Инсинератор «Искра-10»



Рис. 6. Стенд для испытания инсинераторов при качке

Таблица 2

Технические характеристики инсинератора «Искра-10»

Техническая характеристика	Значение
Максимальная мощность, кКал/ч (кВт)	100 000 (116)
Производительность сжигания твердых отходов, кг/ч	25
Максимальный расход топлива горелкой, кг/ч	11,0
Потребляемая мощность, кВт	6,5
Напряжение питания установки от источника трехфазного переменного тока частотой 50 Гц, В	380 (400)
Габаритные размеры, мм	1305×1710×1015
Масса, кг	2000
Максимальная температура на выходе топочных газов из камеры сгорания, °С	1200
Минимальная температура на выходе топочных газов из камеры сгорания, °С	850
Температура предварительного нагревания камеры сгорания, °С	650
Давление разрежения в камере сгорания, Па	50 – 80
Содержание O ₂ в выхлопных газах из инсинератора	Минимум 6%

томатикой с доступной компонентной базой и КИП, что позволяет интегрировать его в судовые системы и модернизировать в будущем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью отечественных судостроительных предприятий является создание российского флота независимо от зарубежных поставок иностранного судового комплектующего оборудования, что достигается в первую очередь его замещением. Это требует разработки и внедрения современных отечественных технологий для создания востребованной продукции.

Закупка иностранного судового комплектующего оборудования наносит непоправимый урон отечественному судостроению, нарушает логистические цепочки, негативно сказывается на развитии отечественных предприятий-поставщиков, входящих в кооперацию, научных школ.

В сложный период отечественным судостроительным и машиностроительным предприятиям необходимо объединиться и направить ресурсы на решение общей задачи – создания эффективного флота, что может быть достигнуто при

поддержке отечественных производителей судового комплектующего оборудования путем исключительно его закупки при строительстве кораблей и судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на изобретение РФ №2741004. Комплекс для переработки твердых органических отходов/Кузнецов Л.Г., Кузнецов Ю.Л., Бураков А.В., Перминов А.С., Шарифова С.Э. – Оpubл. 22.01.2021.
2. Бураков А.В., Котлов А.А., Левихин А.А. Компрессорное оборудование для повышения эффективности комплексов переработки твердых органических отходов// Омский научный вестник. – Сер.: Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. – 2021. – Т. 5. – № 3. – С. 54–62.
3. Кузнецов Л.Г., Кузнецов Ю.Л., Бураков А.В., Томашевский С.М. Эффективные системы очистки, осушки, хранения и контроля параметров сжатого воздуха для кораблей военно-морского флота и гражданских судов// Морской вестник. – 2018. – № 4 (68). – С. 73–76.
4. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL) ([https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx))
5. Resolution MEPC.244(66) Adopted on 4 April 2014. – 2014 Standard Specification for Shipboard Incinerators [https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.244\(66\).pdf](https://www.wcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.244(66).pdf)
6. Тё, А.М. Эксплуатация судовых вспомогательных механизмов, систем и устройств : учеб. пособие. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2014, с. 161–168.
7. Тимофеев П.А. Обоснование разработки современной инсинераторной установки с возможностью сжигания нефтяных остатков//Тр. Крыловского гос. науч. центра. – 2018. – Спец. вып. 1. – С.142–150.
8. Швец А.А., Черкаев Г.В. Рекомендации по выбору инсинераторной установки для утилизации нефтесодержащих отходов, образующихся на судах//Тр. Крыловского гос. науч.центра. – 2021. – Спец. вып. 1. – С.278–279.
9. Морские безопасные технологии//Окружающая среда Санкт-Петербурга. – 2017. – Вып.№1(3. – Сайт ЗАО «Безопасные Технологии» www.zaobt.ru.
10. Кофман Д.И., Востриков М.М. Термическое уничтожение и обезвреживание отходов. – СПб.: НПО «Профессионал», 2013. – 340 с.
11. Патент на полезную модель РФ №216855. Инсинератор судовой для твердых отходов/ Кузнецов Л.Г., Бураков А.В., Титова С.Ю., Балакшина Д.В., Кудла Н.А., Демидюк Р.И. – Оpubл. 06.03.2023 г. ■

ВАО «СПМБМ «Малахит» накоплен обширный опыт проектирования систем охлаждения главного конденсатора (ГК), применяемых на атомных подводных лодках (АПЛ) различных проектов и аппаратах. На основании опыта проектирования, испытаний и эксплуатации данных систем выполнен сравнительный анализ, позволяющий определить наиболее целесообразные пути развития этих систем для оценки возможности применения на перспективных проектах.

На АПЛ 3-го и 4-го поколений применяются системы охлаждения ГК активного принципа действия.

На АПЛ 3-го поколения система охлаждения предназначена для охлаждения забортной водой ГК, встроенных в него водоводяных теплообменников систем охлаждения паротурбинной установки (ПТУ) и общекорабельных потребителей. Продольный разрез системы охлаждения ГК АПЛ 3-го поколения и входящее в ее состав оборудование представлены на рис. 1.

Система охлаждения ГК АПЛ 4-го поколения предназначена для его охлаждения забортной водой, а также подачи охлаждающей воды на блоки теплообменников (ТО) системы охлаждения генераторов (СОГ), маслоохладителя (МО) и блока охладителей эжекторов (БЭЖ). Система охлаждения

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ГЛАВНОГО КОНДЕНСАТОРА НА АТОМНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДКАХ И АППАРАТАХ

В.Г. Кирикова, начальник сектора отделения ЭУ и СУ ЭУ,
А.А. Иванов, инженер-конструктор 1-й категории отделения ЭУ и СУ ЭУ,
И.А. Сорочкин, инженер-конструктор 3-й категории отделения ЭУ и СУ ЭУ,
АО «СПМБМ «Малахит»,
контактный тел. (812) 242 8540

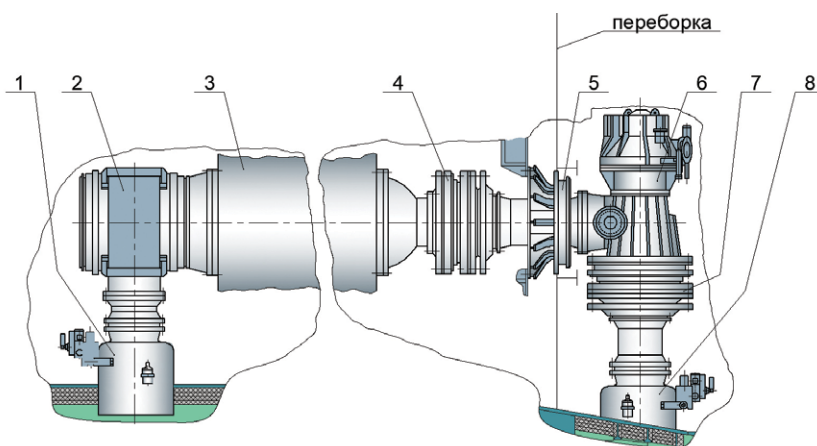


Рис. 1. Продольный разрез системы охлаждения ГК АПЛ 3-го поколения
1 – отливная захлопка; 2, 4, 7 – патрубки компенсационные; 3 – ГК; 5 – переборочное уплотнение; 6 – циркуляционный насос; 8 – приемная захлопка

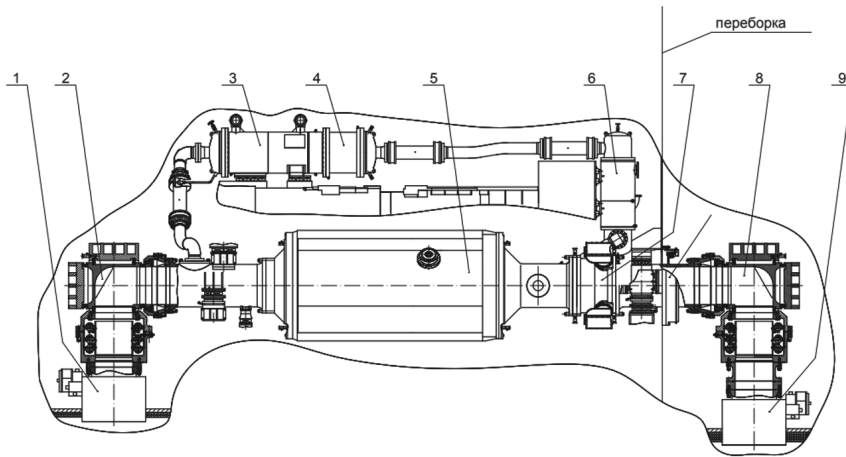


Рис. 2. Система охлаждения ГК АПЛ 4-го поколения

1 – отливная захлопка; 2, 8 – патрубки компенсационные; 3 – ТО; 4 – ТО СОГ; 5 – ГК; 6 – охладители БЭЖ; 7 – циркуляционный насос; 9 – приемная захлопка

ГК правого борта и входящее в ее состав оборудование представлены на рис. 2.

Система охлаждения ГК АПЛ 3-го и 4-го поколений размещена в двух соседних помещениях и выполнена из двух циркуляционных трасс (ЦТ), расположенных побортно. Охлаждающая заборная вода поступает в приемные захлопки и прокачивается циркуляционными насосами в отливные захлопки, в результате чего происходит охлаждение ГК и дополнительного оборудования.

В составе атомной энергетической установки (АЭУ) глубоководных технических средств (ГТС) входит конденсационная установка пассивного принципа действия с контуром промежуточного теплоносителя (в дальнейшем – конденсационная установка). Назначение конденсационной установки – конденсация

отработавшего пара от турбогенераторной установки (ТГУ).

Конденсационная установка (рис. 3) состоит из конденсаторного блока 6, блока заборных теплообменников 4, 5, контура промежуточного теплоносителя (трубопроводов), соединяющих элементов системы. Конденсационная установка, за исключением заборных теплообменников, размещается внутри ГТС.

Конденсаторный блок установки состоит из поверхностного конденсатора, эжекторов пароструйных, охладителей конденсата и конденсатоотводчика. Блок заборных теплообменников состоит из самостоятельных, однотипных, не связанных друг с другом секций (см. рис. 3, поз. 4, 5).

Система промежуточного теплоносителя выполнена в виде автономных

контуров, в которых осуществляется естественная циркуляция теплоносителя. В качестве теплоносителя используется аммиак.

Отработавший пар, поступающий в конденсаторный блок установки, охлаждается контуром промежуточного теплоносителя, в свою очередь теплоноситель промежуточного контура охлаждается в заборных теплообменниках за счет естественной циркуляции и самопротока морской воды.

Рассмотрев систему охлаждения ГК АПЛ 3-го и 4-го поколений и систему охлаждения ГК пассивного действия, применяемую на ГТС, можно сделать вывод, что система охлаждения ГК пассивного действия на ГТС имеет ряд преимуществ по сравнению с системой охлаждения ГК на АПЛ:

- отсутствие насосного оборудования (с приводами, арматурой, органами управления и защиты) по перекачке теплоносителя промконтура и заборной воды;
- готовность к эксплуатации без предварительной подготовки;
- низкий уровень гидроакустических шумов и вибрации, определяемый малыми скоростями рабочих сред – теплоносителя промежуточного контура и отработавшего пара и отсутствием движущихся механизмов.

В свою очередь система охлаждения ГК на АПЛ имеет ряд преимуществ:

- небольшие массогабаритные характеристики, за счет наличия насосного оборудования для охлаждения ГК и отсутствия теплообменного оборудования промежуточного контура;
- отсутствие необходимости установки системы контроля течи аммиака в отсеке и дополнительной защиты для предупреждения его распространения.

На основании проведенного сравнительного анализа отдельных эксплуатационных свойств и характеристик систем охлаждения ГК активного и пассивного принципов действия можно сделать вывод о возможности применения на перспективных проектах АПЛ систем охлаждения ГК пассивного принципа действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЛТПИ-402.003.001–2022 «Исследование возможности применения системы пассивного принципа действия для охлаждения главного конденсатора на перспективных АПЛ» ■

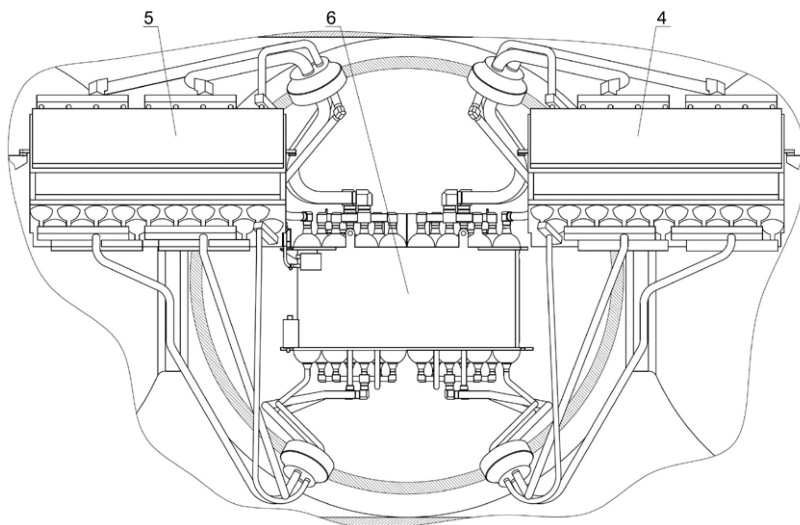


Рис. 3. Общий вид конденсационной установки на ГТС

В процессе эксплуатации подводных лодок (ПЛ) периодически возникает необходимость постановки за борт ПЛ, находящейся в подводном положении, сигнальных патронов, радиобуев, средств гидроакустического противодействия и других изделий различного назначения, в том числе робототехнических средств [1] (далее – изделия). Для выполнения этой задачи ПЛ оснащаются специальными пусковыми установками (ПУ) различных принципов действия, позволяющих произвести зарядку подготовленного изделия из отсека ПЛ, шлюзование и выстрел изделием с заданными параметрами скорости и ускорения.

Типовая схема установки пускового аппарата такой ПУ показана на рис. 1. Как правило, пусковой аппарат крепится к специальному стакану, сваренному в прочный корпус (ПК) ПЛ. Вырез для прохода выстреливаемого изделия через легкий корпус (ЛК) в походном положении закрыт специальным обтекателем [2]. Поскольку значительная часть применяемых изделий, в частности сигнальных патронов и радиобуев, предназначена для всплытия на поверхность после выстрела и имеет положительную плавучесть, пусковой аппарат размещается в верхней части ПК и установлен под некоторым положительным углом к основной плоскости, что облегчает расхождение изделий с ПЛ.

На современных отечественных ПЛ в качестве подобной ПУ используется устройство ВИПС, которое относится к классу ПУ с пневмомеханическим принципом действия (т. е. использует энергию сжатого воздуха для создания усилия, механически передаваемого на изделие) и имеет оригинальную конструкцию с рядом промежуточных элементов, обеспечивающих выбрасывание изделий – гильзы и установленного в ней специального поршня [2]. Данное техническое решение, наряду с достоинствами, обладает рядом недостатков, среди которых – сложность обращения с гильзами, имеющими значительную массу (до 15 кг без учета массы изделия), ведущая к необходимости выполнять зарядку устройства силами двух человек, наличие особых требований к конструкции изделий в части наличия упорного элемента в месте контакта с поршнем, невозможность обеспечения ввода данных в изделие внутри ПУ, невозможность использования изделий, связанных кабелем с ПЛ после выстреливания (например, радиобуев двухсторонней связи), а также крайне низкая выходная скорость изделий на срезе пускового аппарата ПУ, обусловленная тем, что разгон изделия осуществляется только на длине хода поршня в гильзе.

БЕСПОРШНЕВАЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ПУСКОВАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОСТАНОВКИ МАЛОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ

А.А. Борискин, инженер-конструктор 1-й категории, АО «СПМБМ «Малахит», контакт. тел. +7 (921) 576 1081

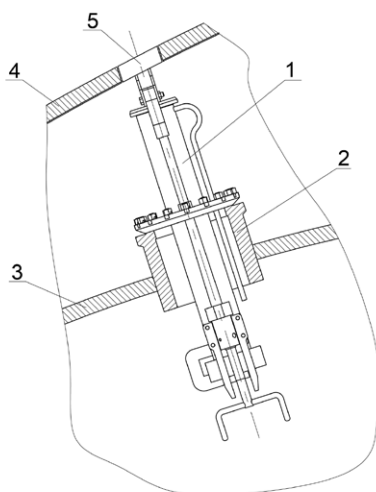


Рис. 1. Установка малогабаритной ПУ на ПЛ

1 – пусковой аппарат ПУ, 2 – сварной стакан, 3 – прочный корпус ПЛ, 4 – легкий корпус ПЛ, 5 – обтекатель

На ПЛ иностранных государств от ПУ с пневмомеханическим принципом действия отказались в пользу пневмогидравлических ПУ. В ПУ данного типа энергия сжатого воздуха преобразуется в давление забортной воды, действующее на изделие для его выброса [3].

Данному конструктивному решению несвойственны указанные выше недостатки ПУ типа устройства ВИПС, однако они имеют большие габариты и конструктивно сложнее, что объясняется наличием пневмогидропреобразователя (ПГП), представляющего собой поршневой водяной насос, приводимый в движение пневмоцилиндром, и наличием труб большого диаметра, связывающих забортную среду, ПГП и пусковой аппарат.

При необходимости ПГП можно совместить с пусковым аппаратом, что позволяет избавиться от труб большого диаметра. Однако такая компоновка, в свою очередь, требует усложнения конструкции пускового аппарата.

Существенно сократить габариты и упростить конструкцию ПУ с пневмогидравлическим принципом действия можно путем отказа от ПГП поршневого типа и перехода на прямое вытеснение

жидкости воздухом из специальной емкости. Подобной схемой применялась, в частности, на первом спроектированном в Российской империи подводном торпедном аппарате (ТА), установленном на первом же российском миноносце «Взрыв» (спущен на воду 14 августа 1877 г.) [4].

Схема данного ТА приведена на рис. 2. Принцип действия аппарата заключался в следующем: перед стрельбой труба ТА 1, патрубок 3 и частично ресивер 4 заполнялись забортной водой, причем объем воды, принятой в ресивер, был больше внутреннего объема трубы ТА 1. Непосредственно перед выстрелом открывался ординарный клапан 7. Для производства выстрела открывался боевой клапан 6, в результате чего воздух из боевого баллона 5 поступал в ресивер 4, вытесняя оттуда воду. Вытесняемая вода поступала через патрубок 3 в трубу ТА 1 и выбрасывала изделие 2. Выстрел заканчивался отсечкой боевого клапана 6. Наличие в системе ординарного клапана 7 было вызвано невозможностью создания в то время боевого клапана, сочетающего быстродействие и высокую герметичность.

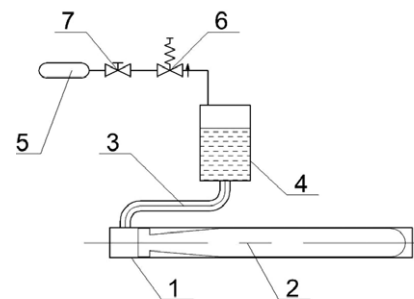


Рис. 2. Схема ТА миноносца «Взрыв»

1 – труба ТА, 2 – торпеда, 3 – патрубок, 4 – ресивер, 5 – боевой баллон, 6 – боевой клапан, 7 – ординарный клапан

Вопрос о возможности и целесообразности применения данной схемы для ПУ ПЛ требует рассмотрения ряда ее технических особенностей, а именно:

- необходимости недопущения выхода воздуха через пусковой аппарат после заполнения ресивера, поскольку это недопустимо для ПЛ при применении некоторых изделий;

- неразгруженности данной схемы от забортного давления, т. е. необходимости изменять давление, подаваемое в пусковой аппарат в зависимости от глубины ПЛ;
- необходимости сброса в отсек отработанного стрельбового воздуха, что может накладывать ограничения на эксплуатацию, особенно на больших глубинах.

Для оценки энергетических характеристик ПУ был выполнен предварительный расчет внутренней баллистики при действии различных значений постоянно действующего избыточного выбрасываемого давления для следующих исходных данных: длина пускового аппарата – 1200 мм, внутренний диаметр пусковой трубы – 127 мм, высота обтекателя – 150 мм, скорости ПЛ – 10 и 15 уз. В качестве изделия для оценки взят прибор гидроакустического противодействия (ГПД) «Вист-Э», имеющий диаметр 123 мм, длину 810 мм и массу 13,5 кг [5]. Некоторые результаты расчетов приведены на рис. 3.

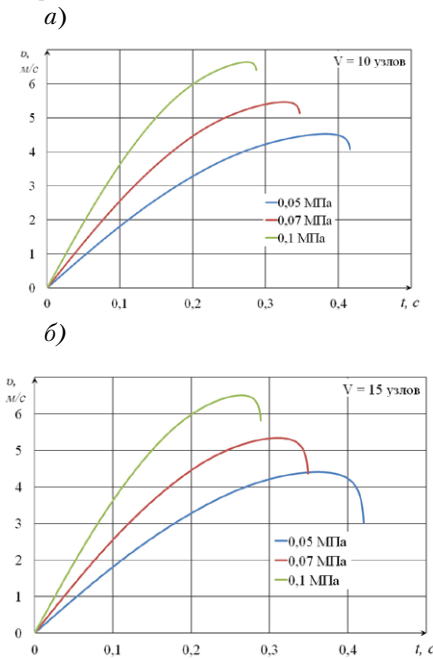


Рис. 3. Скорость изделия в пусковом аппарате при выстреле в зависимости от действующего давления для скорости ПЛ 10 уз (а) и 15 уз (б)

Как видно из представленных графиков, избыточные давления от 0,05 до 0,1 МПа (от 0,5 до 1 кгс/см²) позволяют разогнать выходящее изделие до скоростей не менее 3 м/с. Для дальнейших рассуждений будем отталкиваться от наибольшей цифры в 0,1 МПа.

Для сравнения следует отметить, что в устройстве ВИПС при использовании давления от 0,3 до 0,4 МПа выходная скорость, определяемая скоростью движения поршня гильзы, составляет менее 1 м/с. Это объясняет-

ся, с одной стороны, высоким гидравлическим сопротивлением системы, а с другой – возможностью повреждения поршня или гильзы при движении с большей скоростью.

Поскольку по окончании выстрела пусковой аппарат устройства ВИПС полностью заполнен воздухом под давлением не менее чем на 0,3 МПа превосходящим забортное, а в рассматриваемой ПУ требуется не более 0,1 МПа, можно сделать вывод, что объем отработанного воздуха при условии обеспечения своевременной отсечки поступающего воздуха будет во всяком случае не больше, чем у устройства ВИПС.

Исходя из потребного избыточного давления, также можно сделать вывод об объеме ресивера, достаточном для гарантированного невыхода воздуха из пускового аппарата после его расширения. Очевидно, что степень расширения воздуха уменьшается с увеличением глубины погружения. Так, на глубине 20 м расширение воздуха после отсечки составит 50%, для чего требовалось бы иметь ресивер размером в два раза больше объема воды на выбрасывание изделия плюс запас. Однако обеспечение бесследности выстрела на малых глубинах нецелесообразно, поскольку на них не обеспечивается оптическая скрытность самой ПЛ. При обеспечении бесследности на глубинах 40–50 м запас на расширение составит от 20 до 25%. Для ранее рассмотренных исходных данных (длина пускового аппарата – 1200 мм, внутренний диаметр – 127 мм) объем воды на выбрасывание изделия составляет 15,2 л. При запасе на утечки при выстреле и на расширение по 20% общий объем ресивера составит не более 22 л.

Изменение давления подаваемого воздуха в зависимости от глубины и обеспечение своевременной отсечки (о важности которой сказано выше) представляется наиболее сложной технической задачей при проектировании данной ПУ. В то же время задача имеет технические решения. Например, для пневматических ТА ПЛ еще в 60-е гг. была разработана система стрельбы ГС-250, в которой проходное сечение боевого клапана и время до отсечки отстраивалось по глубине погружения. Данная система до сих пор успешно применяется на ряде ПЛ, однако ее функционал реализован на пневматических и механических элементах [6]. Для управления подачей и отсечкой воздуха может быть использовано современное конструктивное решение в виде программного дискретного регулятора (ПДР) подачи воздуха. ПДР (рис. 4) состо-

ит из клапана-регулятора, подающего воздух от корабельного источника в ПУ, и нескольких быстродействующих электроуправляемых пневмоклапанов, подача воздуха с которых приводит к изменению проходного сечения клапана-регулятора [6] (рис. 5).

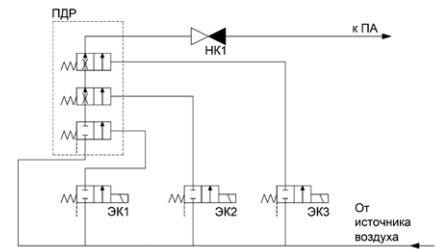


Рис. 4. Принципиальная схема трёхступенчатого ПДР ЭК1, ЭК2, ЭК3 – электромагнитные клапаны, НК – невозвратный (обратный) клапан, ПДР – программный дискретный регулятор

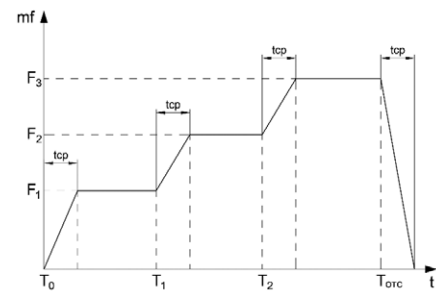


Рис. 5. График эффективного проходного сечения mf ПДР в зависимости от времени t с учетом времени срабатывания t_{cp} ступеней

Задавая программным способом в системе управления ПУ порядок выдачи команд на электроуправляемые клапаны можно реализовать определенный закон подачи воздуха в ПУ, обеспечив заданное значение среднего давления. В качестве входных параметров может задаваться не только глубина, но и тип изделия. Различные варианты конструктивных исполнений ПДР приведены, в частности, в патентах РФ № 2263270, № 2393523, № 2483269, № 2534467. Пример конструктивного исполнения клапана-регулятора приведен на рис. 6.

Конструктивная схема пускового аппарата ПУ представлена на рис. 7. Пусковой аппарат состоит из корпуса 1, снабженного фланцем 2 для установки в стакан прочного корпуса ПЛ. Внутри корпуса расположена внутренняя пусковая труба 3, через которую и осуществляется выстрел изделия. Загрузка изделий осуществляется через внутреннюю крышку аппарата 3. Пространство, ограниченное корпусом 1, пусковой трубой 3 и внутренней крышкой 4, представляет собой полость вытеснения А, которая заменяет отдельно стоящий ресивер. Для вентиляции полости А при заполнении и подачи воздуха при выстреле в полость А проведен трубопровод 5. Пусковая труба 3 также имеет трубопровод вентиляции 6 для выпуска возду-

ха при заполнении. На схеме не показаны наружная крышка с приводом и штуцер заполнения/осушения аппарата.

При наличии в месте установки пускового аппарата межбортного пространства возможно увеличение диаметра корпуса 1 в забортной части, как и показано на рис. 7. Это позволяет несколько уменьшить внутренний диаметр корпуса 1 и, соответственно, посадочный диаметр фланца 2 при заданном объеме полости А. Поскольку, как уже было упомянуто, пусковой аппарат ставится под углом вверх, целесообразно кроме того увеличить диаметр забортной части корпуса 1 несимметричным, со смещением оси вверх, относительно оси пусковой трубы 3. Применение корпуса увеличенного диаметра ограничивается необходимостью установки наружной крышки и ее привода.

Принцип действия ПУ следующий: через внутреннюю крышку 4 в пусковую трубу 3 помещается изделие, после чего внутренняя крышка закрывается. Аппарат заполняется водой через штуцер заполнения/осушения, при этом воздух выходит через трубопроводы 5 и 6 в отсек ПЛ. По окончании заполнения и выравнивании давления внутри аппарата с забортной открывается наружная крышка. Система управления ПУ, исходя из данных о глубине ПЛ и типе изделия, определяет требуемые параметры работы ПДР. При подаче сигнала на выстрел система управления с нужными временными интервалами производит подачу и снятие питания на электромагнитные клапаны управления ступенями ПДР. Воздух из ПДР через трубопровод 5 поступает в полость А и вытесняет находящуюся там воду в пусковую трубу 3, где она создает избыточное давление на кормовую часть изделия, выбрасывая его из аппарата. После закрытия ПДР (отсечки) стрельбовой воздух продолжает расширяться в полости А до тех пор, пока его давление не станет равным давлению забортной воды. Наружная крышка закрывается, и стрельбовой воздух через трубопровод 6 стравливается в отсек, после чего аппарат осушается.

Вопросами, требующими дополнительного исследования, являются определение оптимального количества ступеней ПДР и влияние растворения воздуха на поверхность слоя на работу ПУ.

Выводы

1. Пусковые установки малогабаритных изделий с пневмогидравлическим принципом действия имеют ряд эксплуатационных преимуществ по сравнению с установками с пневмомеханическим принципом действия.

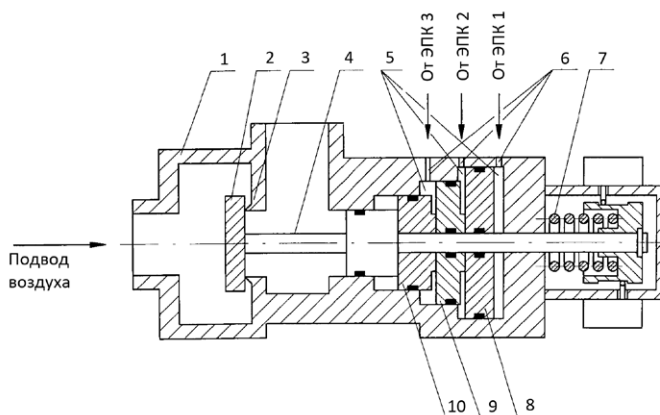


Рис. 6. Пример конструктивной реализации клапана-регулятора трехступенчатого ПДР (по патенту РФ № 2534467)

1 – корпус, 2 – клапан, 3 – седло, 4 – шток, 5 – управляющие полости, 6 – каналы, 7 – возвратная пружина, 8 – поршень первой ступени, 9 – поршень второй ступени, 10 – поршень третьей ступени

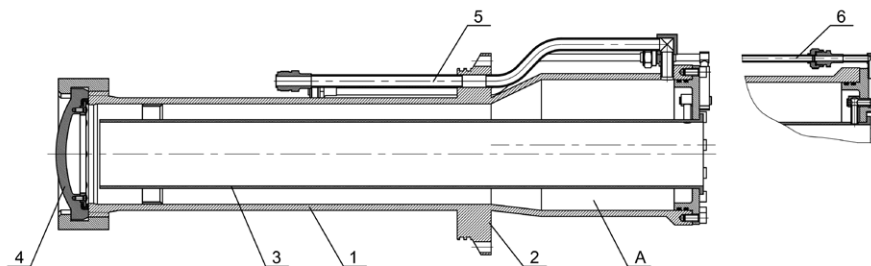


Рис. 7. Конструктивная схема пускового аппарата беспоршневой пневмогидравлической ПУ (наружная крышка с приводом и штуцер заполнения/осушения не показаны)

1 – корпус, 2 – фланец, 3 – пусковая труба, 4 – внутренняя крышка, 5 – стрельбовый трубопровод, 6 – трубопровод вентиляции пусковой трубы, А – полость вытеснения

2. Сократить габариты и упростить конструкцию пневмогидравлической пусковой установки можно путем использования беспоршневой неразгруженной установки.

3. Энергетические параметры малогабаритных ПУ ПЛ и современный уровень развития техники позволяют создать беспоршневую пневмогидравлическую ПУ, пригодную для применения на ПЛ.

4. При создании беспоршневых пневмогидравлических ПУ ПЛ имеется ряд вопросов, требующих дополнительного изучения, в частности, определение оптимального количества ступеней в ПДР и влияния растворения воздуха на работу ПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный сайт новостного издания «The Drive». – URL: «<https://www.The-drive.com/the-war-zone/39700/the-u-s-navy-submarine-launched-aerial-drone-capacity-is-set-to-greatly-expand>», дата обращения: 10.10.2022.
2. Кормилицын Ю. Н., Хализев О. А. Устройство подводных лодок. – Т. 1. – СПб.: ЦКБ МТ «Рубин», 2018.
3. Многоцелевые ПЛ ВМС Великобритании: Аналитический отчет. – Ч. 2. – СПб.: ЦКБ МТ «Рубин», 2008.

4. Шафранский Е. П. Гидравлические и механические ТА отечественных ПЛ. – СПб.: СПМБМ «Малахит», 2009.
5. Официальный сайт АО «Рособоронэкспорт». – URL: «<https://roe.ru/catalog/voenno-morskoy-flot/korabelnoe-vooruzhenie/vist-e/>», дата обращения: 10.10.2022.
6. Шафранский Е. П. Воздушные ТА отечественных ПЛ. – СПб.: СПМБМ «Малахит», 2012.
7. Патент № 2263270 (РФ). Воздушная система турбонасосной установки гидравлического торпедного аппарата/ Ефимов О. И., Красильников Е. П., Сердитов Г. Д., Форафонов С. Н. Оpubл. 27.10.2005//Бюлл. № 30.
8. Патент № 2393523 (РФ). Регулятор давления/ Гришин Д. И., Михлин В. Г., Чугина О. И. Оpubл. 27.06.2010//Бюлл. № 18.
9. Патент № 2483269 (РФ). Воздушная система турбонасосной установки гидравлического торпедного аппарата/ Ефимов О. И., Красильников Е. П., Артемов А. В., Хорьков П. А., Урусов Р. А. Оpubл. 27.05.2013//Бюлл. № 15.
10. Патент № 2534467 (РФ). Система стрельбы с гидравлическими торпедными аппаратами/ Хорьков П. А., Урусов Р. А., Смирнов А. А., Красильников Е. П., Ефимов О. И., Арзуманов Ю. Л., Коноплев А. Ф. Оpubл. 27.11.2014//Бюлл. № 3.

Один из наиболее ответственных механизмов на судне – рулевой привод, от его эффективности и надежности зависят безопасность мореплавания и экономические показатели судна. При проектировании, постройке и эксплуатации выполнение требований к обеспечению надлежащей эксплуатационной надежности рулевых устройств может быть достигнуто только на основе теоретической базы знаний конструктивных особенностей и специфики работы механизмов рулевого устройства.

На судах среднего и большого тоннажа наиболее распространены рулевые машины с приводами к баллеру трех типов – плунжерные, роторные и поршневые. Плунжерные рулевые машины на российском флоте известны давно, еще со времен крейсера «Боярин» и ледокола «Красин». В то время первенство в развитии электрогидравлических рулей держала Англия, в нашей стране уже в 1938 г. была поставлена на серийное производство первая плунжерная рулевая машина РЭГ. С этого времени отечественными плунжерными машинами были оснащены тысячи судов и кораблей, и сейчас Пролетарский завод серийно выпускает «праправнука» РЭГ – машины типа РЭГ8–3 МЭ. Понятны и описаны в литературе практика применения и конструктивные особенности плунжерных машин.

С поршневыми и роторными машинами дело обстоит несколько иначе. В 1958 г. научно-исследовательским сектором Одесского высшего инженерного морского училища под руководством В. В. Завиши создана первая отечественная рулевая машина с лопастным приводом РЭГ ОВИМУ-7. Эта машина работала при перепаде давления рабочей жидкости 40 кгс/см², развивая момент 60–70 кНм. Была изготовлена серия этих машин (около 50 шт.), которые длительное время (до списания судов) находились в эксплуатации в Черноморском, Азовском и Северном морских пароходствах. Опыт эксплуатации был положительным. Однако по окончании строительства серии дальнейшие работы по созданию отечественных лопастных машин были прекращены, и должного теоретического фундамента на основе полученного опыта не сформировано.

Современная отечественная промышленность начала осваивать разработку и производство рулевых роторных машин (РРМ) только в последние десять лет. В России проблематикой, связанной с рулевыми приводами, занимается ЦНИИ судового машиностроения, и именно перед ним Минпромторгом была поставлена задача по формированию научного базиса для проектирования и применения роторных машин. В результате были созданы приводы со сферическим и цилиндрическим корпусом, и сейчас ведется разработка следующего поколения машин, проводятся работы по расширению типоряда по величине крутящего момента. Обобщив наработанный опыт, постараемся в этой статье ответить на вопросы, которые в первую очередь встают перед проектантом при работе с этим ответственным и специфичным механизмом: когда рационально предпочесть РРМ другого типа и какие конструктивные особенности необходимо учитывать при ее выборе.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РРМ

Привод силовой рулевой машины состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора с лопатками. Статор представляет собой цилиндрический корпус с крышкой и основанием для крепления силового привода к фундаментам судна. Внутри корпуса установлены неподвижные упоры, жестко скрепленные с крышкой, корпусом и основа-

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРИВОДОВ РУЛЕВЫХ МАШИН РОТОРНОГО ТИПА

*Ю.А. Лебедев, гл. конструктор – ученый секретарь ЗАО «ЦНИИ СМ»,
контакт. тел. +7 (981) 991 2588, (812) 640 1051, yalebedev@sudmash.ru*

нием. Крышка и основание снабжены радиально-упорными подшипниковыми узлами, являющимися опорами ротора.

Ротор представляет собой цилиндр с выполненными на нем лопатками, аналогичными по размерам лопаткам статора. В оси ротора имеется отверстие для соединения с баллером. При установке ротора внутрь статора две полости, образуемые неподвижными упорами, разделяются двумя лопатками ротора на четыре рабочие камеры (либо на шесть для трехлопастных машин). Рабочая жидкость, подаваемая под давлением от системы гидравлики в рабочие камеры корпуса силового привода, приводит во вращение ротор, создавая момент на баллере. Общий вид привода показан на рис. 1.

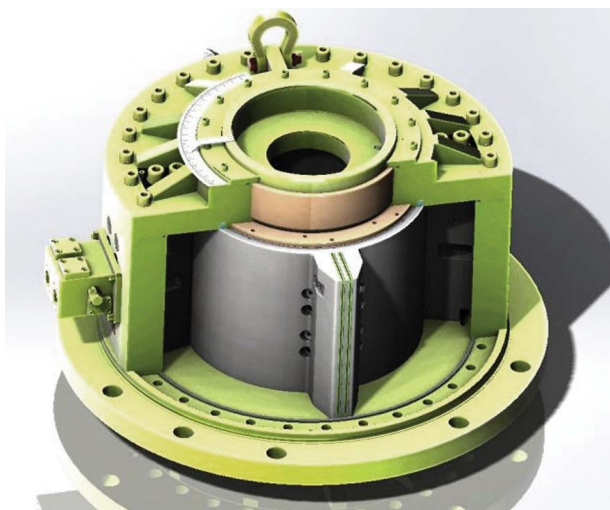


Рис. 1. Силовой привод РРМ

Как мы видим, основной особенностью РРМ является то, что рабочая камера машины представляет собой не полый цилиндр, как у плунжерных или поршневых машин, а кольцевой канал прямоугольного сечения. Реже встречаются конструкции машин с рабочей камерой в виде усеченного тороида. Значит, перед нами встает вопрос, как такой канал уплотнить. Номенклатура уплотнений гидроцилиндров, имеющих стандартизированные конструктивные решения, широчайшая, а вот для прямоугольных каналов никаких стандартных гидравлических уплотнений не существует. У каждого изготовителя роторных машин есть свое, в той или иной степени уникальное решение уплотнения рабочих камер. Это делает ремонт таких машин жестко привязанным к сервису конкретного производителя. Поэтому для минимизации рисков считается целесообразным в комплекте поставки машины иметь ЗИП с полным набором уплотнений привода. Поскольку часть уплотнений находится между ротором, закрепленным на баллере, и нижней крышкой, закрепленной к судовому фундаменту, выполнить ремонт привода с заменой уплотнений без расстыковки ротора с баллером невозможно. А значит, РРМ необходимо применять только в составе рулевых устройств, имеющих нижнюю опору пера, либо устройства фиксации баллера как от осевого, так и от радиального перемещения. Для облегчения

ремонтных работ крайне желательно иметь запас высоты румпельного помещения, достаточный для полного снятия машины с фундамента.

Следующим моментом, касающимся компоновки рулевого устройства, является необходимость ограничения воздействия на привод изгибных нагрузок от баллера и осевой силы, направленной вверх. Для РРМ применяется два типа соединения с баллером руля: конусное гидропрессовое и для небольших моментов на конических зажимных втулках. При соединениях таких типов ротор рулевой машины практически становится частью баллера и испытывает все те же перемещения. В то же время зазор между лопаткой ротора и стенками статора минимален и составляет 0,1–0,3 мм, что обусловлено необходимостью обеспечения работоспособности уплотнений. У РРМ большинства изготовителей в конструкции привода отсутствует верхний упорный подшипник, и при осевой нагрузке лопатки ротора упираются в верхнюю крышку. Особенно это критично на больших углах перекладки, когда внутри привода рабочее давление близко к максимальному, и корпус с крышками под воздействием давления начинает «раздуваться», теряя при этом плоскостность, а следовательно, и равномерность контакта с поверхностями лопаток ротора. Особенно велики перемещения в верхней крышке у роторных приводов трехлопаточных машин в районе радиального уплотнения ротора. При этом зазор между ротором и статором на краях лопаток уменьшается. Перекос ротора относительно статора может вызвать касание лопасти ротора поверхности крышки или корпуса и вызвать появление задира, что является наиболее частой причиной выхода роторного привода из строя. Это значит, что конструкция рулевого устройства, в котором применяется РРМ, должна быть такой, чтобы баллер не имел возможности изгиба в районе головы и осевого перемещения на величины, превышающие 0,1–0,3 мм, что на практике трудно осуществимо. Выходом в таком случае становится крепление привода к фундаменту через демпфирующий элемент, представляющий собой эластичную прокладку между лапой привода и фундаментом и эластичную шайбу под головкой стяжного болта, соединяющего привод с фундаментом. В таком случае передача крутящего момента от привода на фундамент должна быть выполнена через клиновые упоры. Пример такой конструкции приведен на рис. 2.



Рис. 2. Рулевая машина «Triton». Крепление привода посредством приварных упоров

Частично чувствительность к перекосам может быть нивелирована применением вышеописанных демпфирующих узлов. Но, тем не менее, при проектировании рулевого устройства под РРМ необходимо отдельно проводить расчет перемещений баллера под воздействием рабочих нагрузок и по возможности их минимизировать. Наиболее общей здесь будет рекомендация применять РРМ в рулевых устройствах с балансирным или полубалансирным рулем и ограничить их применение с подвесным рулем.

Следующими, вытекающими из специфики уплотнения лопастей, особенностями привода является низкий объемный КПД (на уровне 0,94–0,97), а значит, невозможно на ходу зафиксировать руль в переложном положении, и он будет уходить в ноль без постоянной подработки системы гидравлики. Этот эффект практически будет ощутимо проявляться только при перекладке на углы более 20 град. при полном ходе судна, т. е. при выполнении экстренных маневров, в остальное время привод будет работать на значительно меньших перепадах давления, следовательно, и перетечки между камерами будут минимальны.

Особенностью РРМ является способ сообщения рабочих камер между собой. Коммутации парных камер выполняются через каналы (сверления) внутри ротора. Как следствие для большинства конструкций РРМ отсутствует возможность полноценного разделения гидросистемы и на плунжерных, и на поршневых машинах, когда при разгерметизации (нарушения герметичности уплотнений привода или трубопроводов) насосный агрегат работает только на половину привода, а вторая половина рабочих полостей привода закольцовывается и находится без давления. Даже для РРМ, у которых каждая камера имеет свой отдельный внешний подвод от распределительной коробки, работа на половине привода не может осуществляться одновременно, так как в данном случае возникают значительные неуравновешенные радиальные силы, воздействующие на подшипники ротора. Выход из строя любого из шести уплотнений привода приводит к его разгерметизации, а для трехлопаточных машин любого даже из восьми уплотнений. Из-за невозможности резервирования элементов привода, несмотря на сравнительно меньшее количество конструктивных частей, которые с той или иной вероятностью могут выйти из строя, РРМ уступают плунжерным машинам в надежности. Наиболее ощутимо это для боевых кораблей, где требования к скорости восстановления управляемости более жесткие. Для кораблей ВМФ предпочтительно применение плунжерных машин либо двухлопаточных роторных с внешней коммутацией рабочих камер и возможностью работы на половине привода.

Также выигрыш в занимаемой приводом площади компенсируется насосной станцией, которая существенно большего объема, чем у плунжерных машин, в связи с тем, что для большинства РРМ используется система не с замкнутым контуром, как у плунжерных машин, а с открытым; рабочее давление у РРМ в среднем в два раза ниже, чем у поршневых и плунжерных машин, следовательно, для развития такого же крутящего момента при той же скорости вращения РРМ необходим вдвое больший расход рабочей жидкости. Так, для плунжерной РРМ типа РЭГ8 (630 кНм) заправочный объем составляет 400 л, а для роторной РРМ630–1500 л, что сказывается и на эксплуатационных расходах, связанных с периодической заменой рабочей жидкости. Тем не менее для компоновки румпельного отделения габаритные размеры привода более важны, так как расположение станции жестко не привязано к баллеру. Для судов, на которых критичным является именно компактность, выходом будет применение роторных машин со сферическим приводом (полуторойдной рабочей камерой). Эти машины конструктивно сложнее, требуют более точного изготовления и более чувствительны к перекосам, но имеют высокий объемный КПД, работают при более высоких давлениях, а следовательно, более компактны и могут использоваться с гидросистемой закрытого контура, не требующей большого запаса рабочей жидкости.

В целом при правильной компоновке и расчете рулевого устройства, выборе конструктивного типа роторного привода, наиболее подходящего для условий судна, все минусы РРМ можно минимизировать.

Теперь перейдем к тому, какие же преимущества дает такая конструкция и почему, несмотря на все ее недостатки, она так популярна.

Популярность РРМ обусловлена тем, что ее привод компактен и занимает более чем в два раза меньше площади румпельного помещения, чем с плунжерными приводами, и на 10–15% меньше по массе. Так как подшипники расположены внутри привода, их автоматическая смазка в процессе эксплуатации происходит за счет дренажной системы привода. Для установки РРМ на судне требуется соорудить фундамент наиболее простой конфигурации. В РРМ отсутствует переход от возвратно-поступательного движения к вращательному, что исключает использование дополнительных рычагов, шарниров и прочих подвижных узлов, привод передает чистый крутящий момент и не создает дополнительных радиальных нагрузок на подшипники баллера руля. Подвижные лопасти находятся внутри привода и не имеют связи с внешней средой, как, например, поршневые штоки плунжерных машин, следовательно, исключены механические дефекты, коррозия или загрязнения этих деталей извне и, соответственно, нарушение герметичности таких узлов. Конструкция роторно-лопастного двигателя не имеет механического люфта, а его работа наиболее малозумная. Кроме того, лопастной привод имеет высокий механический КПД, статически уравновешен, соединяется непосредственно с баллером руля, обеспечивает постоянный крутящий момент на протяжении всего цикла перекладки и передачу максимальной выходной мощности на всех углах поворота руля. По сути привод РРМ представляет собой высокомоментный неполноворотный лопастной гидромотор. Уравнение момента для такого гидромотора будет иметь достаточно простой вид:

$$M_{кр} = \Delta P \cdot n \cdot S \cdot R \cdot \eta, \text{ кНм},$$

где ΔP – перепад давления между напорными и сливными рабочими камерами; n – количество лопастей ротора; S – площадь боковой поверхности лопатки; R – расстояние от оси баллера до середины высоты лопатки; η – гидромеханический КПД привода (обычно принимается равным 0,94–0,96).

Из вышеприведенной формулы видно, что конструкция силового привода роторно-лопастного типа в отличие от плунжерных и поршневых машин позволяет создавать постоянный, не зависящий от угла перекладки момент, т. е. момент будет пропорционален только гидродинамической силе на пере руля без поправки на изменение кинематики рычажной системы привода. Это также значит, что рулевая машина при возникновении обратного момента при любом положении руля не допустит перегрузки выше уровня настройки предохранительных клапанов, что делает ее в части предохранения от перегрузки обратным моментом самой безопасной.

За счет встроенных мощных радиальных и упорных подшипников ротора привод может служить верхней опорой баллера.

В основном выбор данного типа машин проектантами продиктован конструктивными особенностями корпуса судна, такими как:

- компактные румпельные помещения, в которых оказывается невозможно разместить занимающие большую площадь плунжерные либо поршневые приводы;
- малое расстояние по оси баллера от линии обвода ахтерштевня до фундамента рулевой машины, не позволяющее разместить в корпусе подшипниковые узлы баллера. В этом случае роль верхнего опорно-упорного подшипника принимает на себя роторный привод.

В наибольшей степени преимущества РРМ раскрываются в составе рулевого устройства, оснащенного рулем с поворотным закрылком. В отличие от плунжерных машин, где угол перекладки кинематически составляет не более 40 град., роторный привод может быть исполнен способным отклонять руль на угол 45 и даже 70 град. Рулевое устройство, в котором смещена РРМ и руль Беккера, – очень эффективная система, позволяющая повысить маневренность судна. Снизить радиус циркуляции и уменьшить рысканье судна по курсу. Данная конструкция позволяет обеспечить угол перекладки руля до ± 65 град. и дополнительный угол в 45 град. поворота закрылка, что обеспечивает высокую маневренность судна и хорошее удержание курса. Для некоторых проектов судов рулевое устройство с РРМ и рулем с закрылком может быть более экономичной и конструктивно простой альтернативой рулевым колонкам, подтверждением эффективности такой схемы является ее применение почти на всех крупных судах, строящихся для нужд рыболовного флота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М. Н. Судовые устройства: Справ. – Л.: Судостроение, 1987.
2. Гурович А. Н. Рулевые, якорные и швартовные устройства. – Т. 1. – Л.: Судостроение, 1975.
3. Петров Е. М., Юзефович Ю. И. Лопастные неполноворотные гидродвигатели в судостроении – Л.: Судостроение, 1972.
4. Шмаков М. Г. Рулевые устройства судов – Л.: Судостроение, 1968.
5. Лебедев Ю. А., Ситников В. Ю. Проблемы проектирования рулевых машин роторного типа // Морской вестник. – 2017. – № 3. – С. 47–50.
6. Науч.-техн. отчет ЛИКА.364344.065 Д162 по ОКР «Разработка технологий, создание и испытания опытного образца роторной рулевой машины и организация серийного производства» (шифр «Рулёвка»). Итоговый. – СПб.: ЗАО «ЦНИИ СМ», 2018. ■

Неуклонный рост значимости морских коммуникаций влечет за собой ужесточение требований, предъявляемых к надежности функционирования судов, судовых машин, их комплексов и их элементов.

Как свидетельствуют аналитические обзоры статистических данных (в частности, [1]), второе место после двигателей по частоте отказов пропульсивных комплексов, следствием которых становится потеря хода судна, занимают отказы судовых валопроводов. Как отмечается в [2], к наиболее опасным дефектам, потенциально приводящим к разрушению гребного вала, относятся трещины, а к факторам, способствующим их образованию, относятся коррозии различного генеза. При этом территориальная распределенность судовых валопроводов и их труднодоступность осложняют проведение восстановительных процедур, в связи с чем значимым направлением повышения надежности объектов судового машиностроения является комплексное совершенствование инженерно-технических решений по обеспечению эксплуатационной диагностики судовых валопроводов.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ ВАЛОПРОВОДОВ

Первая группа технических решений, обеспечивающих проведение диагностических процедур для валопроводов, основана на анализе косвенных индикаторов наличия дефектов, в частности, на анализе динамических характеристик валопровода (в том числе характеристик вибраций [3–6] или трения [7]), либо анализе имитационной модели – «цифрового двойника» валопровода [8, 9]. Следует отметить, что, как и все косвенные методы, подобные решения чувствительны к действиям сторонних факторов, кроме того, не позволяют уверенно обнаруживать дефекты на ранних стадиях их развития.

Вторая группа решений основана на анализе прямых индикаторов наличия дефектов путем анализа характеристик поверхности посредством применения датчиков ультразвуковой диагностики, электромагнитной диагностики, систем технического зрения и т. п. [10, 11]. Следует отметить, что серийно выпускаемые системы данной группы применяются в основном для анализа состояния стационарных трубопроводов, и в силу специфики области применения вопросы обеспечения продолжительной автономности функционирования и энергонезависимости, принципиально важные для диагностирования судовых валопроводов, не относятся к основным.

Таким образом, актуальной научно-технической задачей является разработка инженерно-технологических решений, обеспечивающих дефектоскопическую

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СУДОВЫХ ВАЛОПРОВОДОВ

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

диагностику поверхностей (прежде всего внутренних поверхностей) судовых валопроводов на основе анализа прямых индикаторов наличия дефектов; эти технические средства должны обладать автономностью, энергонезависимостью и быть пригодными к интеграции в распределенные иерархические системы.

СТРУКТУРА РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Авторами предлагается вариант структурно-функциональной организации технических средств диагностики внутренней поверхности валопроводов, удовлетворяющих сформулированным выше ограничениям (рис. 1).

Робототехнический диагностический комплекс, размещаемый внутри судового валопровода, состоит из двух частей, имеющих цилиндрическую форму – вспомогательной (А) и основной (Б), соединенных полой осью с резьбой. Левый по схеме конец оси закреплен в подшипнике, жестко соединенном с торцом части А, правая часть оси ввинчена во втулку с внутренней резьбой, жестко соединенную с торцом части Б. На правом конце оси закреплена зубчатая втулка.

Основная часть Б посредством основного микроконтроллера МК (о) обеспечивает управление согласованным перемещением частей робототехнического комплекса, сбором и обработкой диагно-

стической информации, поступающей с систем диагностических датчиков СДД, ее обобщением и передачей внешним системам сбора информации посредством приемопередатчика данных ППД.

Вспомогательная часть А посредством дополнительного микроконтроллера МК (д) управляет своими механическими подсистемами в соответствии с командами, поступающими от МК (о) по каналу обмена информацией на основе светодиода (сд) и фотодиода (фд), работающих в инфракрасном диапазоне спектра, расположенных на торцах полой оси, соединяющей основную и вспомогательную части комплекса, и находящихся поэтому в области прямой видимости.

По краям корпусов каждой части комплекса расположены шаровые опоры, что делает возможным перемещение каждой части в продольном относительно диагностируемого валопровода направлении, а также совместное с валопроводом вращение. Для выбора вида движения (продольного или вращательного) в составе аппаратного обеспечения каждой части предусмотрена тормозящая сервомашинка СМ (т), которая в зависимости от подаваемых микроконтроллером управляющих сигналов либо освобождает шаровые опоры от тормозных колодок, прижимаемых к ним пружинами, либо возвращает тормозные колодки в исходное состояние. В первом случае обеспечивается возмож-

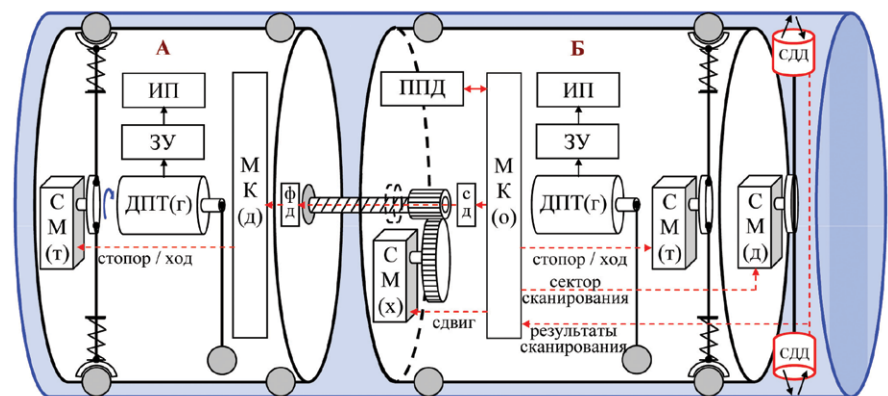


Рис. 1. Структурно-функциональная схема робототехнического комплекса диагностики

ность продольного передвижения части, во втором – ее фиксация в текущей позиции и возможность вращения совместно с валопроводом.

В состав каждой части робототехнического комплекса входит также источник питания ИП, снабженный зарядным устройством ЗУ, которое получает энергию от используемого в режиме генератора двигателя постоянного тока ДПТ (г) с закрепленным на вале ротора подвесом с грузом: при начале вращения системы «валопровод–корпус» статор в свою очередь начинает вращаться относительно ротора, а двигатель генерировать электроэнергию.

В корпусе главной части, кроме того, размещена ходовая сервомашинка СМ (х), обеспечивающая поворот оси, соединяющей главную и вспомогательную части, а также сервомашинка СМ (д), обеспечивающая угловое перемещение диагностических датчиков в задаваемый микроконтроллером МК (о) сектор.

Для осуществления продольного перемещения робототехнического комплекса микроконтроллеры главной и вспомогательной частей согласованно выполняют последовательность действий, включающую пять стадий (рис. 2):

1. В исходном состоянии МК (о) передает команду разблокировать шаровые опоры вспомогательной части; МК (д), получив команду, исполняет ее. В результате часть Б остается застопоренной, часть А – свободна.

2. МК (о), управляя ходовой сервомашинкой СМ (х), обеспечивает поворот оси на заданный угол в заданном направлении, тем самым смещая корпус вспомогательной части А вдоль корпуса валопровода.

3. МК (о) освобождает шаровые опоры главной части и передает команду заблокировать шаровые опоры вспомогательной части; МК (д), получив команду, исполняет ее. В результате часть А застопорена, часть Б – свободна.

4. МК (о), управляя ходовой сервомашинкой СМ (х), обеспечивает поворот оси на заданный угол в направлении, противоположном заданному в п. 2, тем самым смещая корпус главной части Б вдоль корпуса валопровода.

5. МК (о) стопорит шаровые опоры главной части. В результате и часть А, и часть Б застопорены, механическая система приведена в исходное состояние.

Следует отметить, что величину угла поворота оси и зависящего от него продольного смещения робототехнического комплекса определяют, исходя из ширины участка, сканируемого системой диагностических датчиков.

В состав системы датчиков, сканирующих поверхность валопровода, могут входить ультразвуковые, оптические, контактные и прочие датчики, обеспечивающие дефектоскопическую диагностику.

Встроенное программное обеспечение основного микроконтроллера МК (о) обеспечивает агрегацию информации, поступающей от системы диагностических датчиков различной природы, совмещение фрагментов сканируемых областей в единую карту диагностируемой поверхности, выполнение ее анализа для поиска дефектных участков и передачу информации о зонах расположения дефектов иерархически вышерасположенным системам мониторинга состояния судового оборудования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые авторами методы и средства дефектоскопической диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов дополняют существующее множество инженерно-технологических решений обеспечения надежности объектов судового машиностроения. При комплектации описываемой системы манипуляторами комплекс сможет выполнять действия по предотвращению развития дефектов, например, проводить обработку выявленных очагов коррозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кушнер Г. А., Мамонтов В. А., Волков Д. А. Анализ причин повреждений и отказов судовых валопроводов // Вестник Астраханского ГТУ. – Серия: Морская техника и технология. – 2021. – № 3. – С. 33–39.
2. Худяков С. А., Пальчик К. Б., Сюсюка Е. Н. Анализ дефектов валопроводов морских судов и методы их устранения // Эксплуатация морского транспорта. – 2019. – № 2 (91). – С. 89–92.
3. Кистойчев А. В. Причины возникновения, диагностические признаки, предотвращение и устранение дефектов валопроводов турбомашин. – Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук, 2011. – 193 с.
4. Кушнер Г. А. Телеметрический комплекс технического диагностирования судового валопровода. – Патент РФ на изобретение № 2761142. Оpubл. 06.12.2021 // Бюлл. № 34.
5. Попов Д. М., Зиле А. З., Тарадай Д. В., Томашевский С. Б. Диагностический контроль повреждений валопроводов турбоагрегатов по параметрам крутильных колебаний // Электрические станции. – 2020. – № 6 (1067). – С. 35–40.
6. Ишметьев Е. Н., Чистяков Д. В., Панов А. Н., Бодров Е. Э., Врabel М. Системы виброзащиты, виброконтроля и вибродиагностики промышленного оборудования // Электротехнические системы и комплексы. – 2019. – № 1 (42). – С. 67–73.
7. Никитин А. М., Коткин А. В. Диагностика судовых валопроводов // Сб. науч. тр. профессорско-преподавательского состава Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, 2014. – С. 127–129.
8. Гринек А. В., Бойчук И. П., Фищенко А. М., Перельгин Д. Н., Алфимова Н. И. Система предиктивной диагностики гребного валопровода и численное моделирование как составляющие цифрового двойника судовой системы // СТИН. – 2022. – № 12. – С. 30–33.
9. Румб В. К. Имитационное моделирование нагрузок на валопроводы ледоколов и судов ледового плавания // Морской вестник. – 2017. – № 1 (61). – С. 60–63.
10. Грохольский Д. Л., Вакулин Н. А., Иванов О. А. Роботизированная платформа для внутритрубной диагностики. – Патент РФ на полезную модель № 194854. Оpubл. 25.12.2019 // Бюлл. № 36.
11. Грохольский Д. Л. Способ контроля неравномерности толщины стенок трубопроводов. – Патент РФ на изобретение № 2688030. Оpubл. 17.05.2019 // Бюлл. № 14. ■

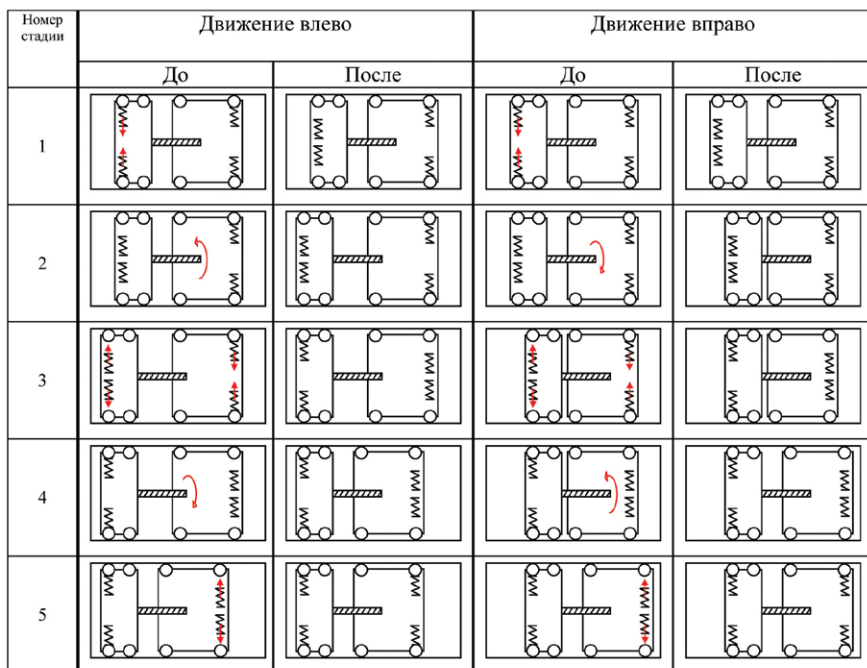


Рис. 2. Диаграмма стадий линейного перемещения робототехнического комплекса

Для математически правильного описания электрохимических и газодинамических процессов, протекающих в твердополимерном топливном элементе (ТПТЭ), необходимы модель ТПТЭ и сложная сетка, которая соответствует, с одной стороны, требованиям к качеству расчетной сетки, а с другой – учитывает достаточно небольшие толщины слоев (до 25 мкм) мембранно-электродного блока и газовых каналов ТПТЭ.

На данный момент расчетную сетку в программном комплексе Ansys Workbench можно построить двумя способами: отдельным приложением Mesh и интегрированным в Fluent подпрограммой Fluent Meshing. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки.

Постановка задачи исследования.

Основные цели работы:

- создание твердотельной модели ТПТЭ;
- построение сетки в среде Fluent Meshing и в базовом приложении Mesh;
- сравнение двух полученных сеток и анализ возможности применения лучшей сетки в последующих расчетах.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

Топливный элемент выполнен в виде одноэлементной сборки мембранно-электродного блока (МЭБ) с активной площадью мембраны 25 см² (рис. 1).

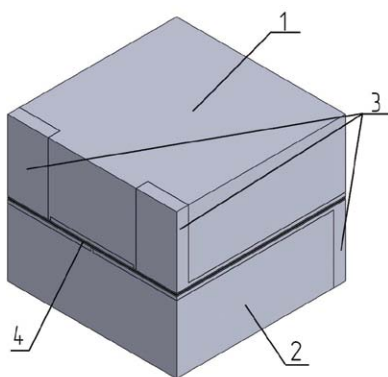


Рис. 1. Внешний вид топливного элемента

1 – катодная токосъемная пластина, 2 – анодная токосъемная пластина, 3 – газовые каналы, 4 – мембранно-электродный блок

ТПТЭ состоит из анода; катода; протонопроводящей мембраны.

Анод и катод (рис. 2) идентичны по составу и состоят из токосъемной пластины; газового канала; части МЭБ, состоящей, в свою очередь, из газодиффузионного слоя, активного слоя; слоя катализатора.

Анодную и катодную часть МЭБ соединяет протонопроводящая мембрана, которая также входит в состав МЭБ.

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ И РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ ДЛЯ ТВЕРДОПОЛИМЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С АКТИВНОЙ ПЛОЩАДЬЮ 25 СМ²

А.М. Белов, студент,

В.В. Кожемякин, д-р техн. наук, доцент,

зав. кафедрой судовой ядерной и водородной энергетики, СПбГМТУ,

контакт. тел. +7 (911) 719 3089, +7 (921) 925 0475, belov_alj@mail.ru, kogh2022@mail.ru

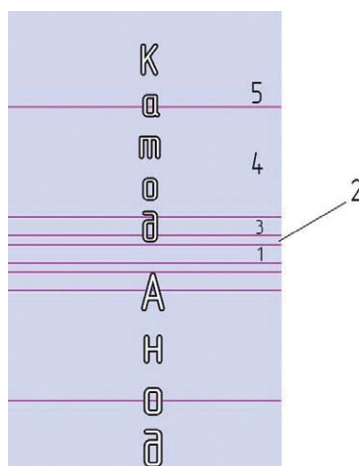


Рис. 2. Взаимное расположение и газовых каналов и слоев МЭБ 1 – мембрана; 2 – слой катализатора; 3 – активный слой; 4 – газодиффузионный слой; 5 – газовый канал

Исходные данные геометрии ТПТЭ приведены ниже:

Исходные данные геометрии ТПТЭ

Наименование	Значение
Высота токосъемной пластины, мм	20
Толщина, мкм:	
– газодиффузионного слоя	300
– активного слоя	50
– слоя катализатора	25
– мембраны	50
Ширина мембраны, мм	50
Длина мембраны, мм	50
Активная площадь мембраны ТЭ, см ²	25
Площадь токосъема, см ²	24,16

Мембранно-электродный блок (МЭБ) – это сложный элемент ТПТЭ, в котором происходит преобразование энергии химической связи (окисление водорода и восстановление кислорода воздуха с образованием воды) в электрическую энергию.

Основой МЭБ является протонопроводящая мембрана (рис. 2, поз. 1). Мембрана частично проницаема для газов и воды. По обе стороны протонопроводящей мембраны расположены электроды – катод и анод (рис. 2, поз. 3) на основе активного слоя, содержащего электродкатализатор, который нанесен поверх мембраны, и газодиффузионного слоя.

В активном слое на электрокатализаторе протекают электрохимические реакции окисления водорода (анод) и восстановления кислорода (катод). Активные слои имеют трехкомпонентную структуру: газовые поры, примерно 60% от объема (подвод реагентов, вывод продуктов реакции), углеродный каркас (перенос электронов) и твердый полимерный электролит (перенос протонов) [1].

Газодиффузионный слой (ГДС) – это один из основных составляющих компонентов мембранно-электродного блока. Основой газодиффузионного слоя является пористая волокнистая структура, представляющая собой обуглероженную (для придания газодиффузионному слою электронной проводимости) ткань, бумагу, войлок. Толщина слоя – 300 мкм.

Для равномерного подвода реагентов к МЭБ была создана система каналов, которая покрывает более 75% площади ГДС.

Поток газа идет по вертикальному входному коллектору (рис. 3), затем разделяется на четыре равных канала (рис. 4), где после прохождения собирается в горизонтальном коллекторе и направляется в следующие четыре канала. После прохождения четырех участков поток газа соединяется в вертикальном отводящем коллекторе и удаляется из ТПТЭ.

Полости между каналами заполнены объемом токосъемной пластины, таким образом, возможен контакт токосъемных пластин катодной и анодной области с МЭБ и осуществление переноса электронов.

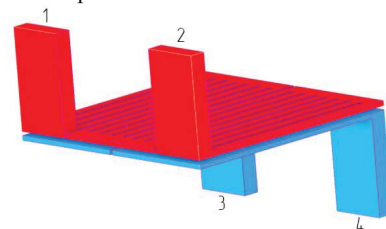


Рис. 3. Внешний вид системы каналов подвода реагентов Красный цвет – катодная полость; голубой цвет – анодная полость 1 – выход анодной полости; 2 – вход анодной полости; 3 – выход анодной полости; 4 – вход анодной полости

ЭТАПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТКИ

Главной характеристикой удовлетворительной сетки при построении было минимальное ортогональное качество (minimum orthogonal quality), которое должно быть более 0,1 [5]. В соответствии с [4] были созданы зоны, определяющие тип объекта и параметры сетки, необходимость или отсутствие пограничного слоя.

Наименования и типы зон модели ТПТЭ

Наименование зоны	Тип зоны
Анодная токосъемная пластина	Solid
Анодный газовый канал	Fluid
Анодный слой:	
– газодиффузионный слой	Fluid
– активный (микропористый)	Fluid
– катализатора	Fluid
Мембрана	Fluid
Катодный слой:	
– катализатора	Fluid
– микропористый	Fluid
– газодиффузионный	Fluid
Катодный газовый канал	Fluid
Катодная токосъемная пластина	Solid

Сначала была построена расчетная сетка автоматическим образом в среде Fluent Meshing с использованием методики Poly-Hexcore для построения объемной сетки [2]. В ходе построения программой был автоматически предложен минимальный и максимальный размер ячейки – $0,48828 \cdot 10^{-5}$ м и 0,00125 м.

После этого была построена поверхностная сетка, которая представлена на рис. 5.

Построенная автоматическим методом «поверхностная сетка» состояла из 657 тысяч ячеек с показателем максимальной асимметрии (maximum skewness) 0,65.

Были заданы приграничные слои для всех зон fluid (см. выше). В результате была построена объемная сетка, состоящая из 1,6 млн. ячеек с минимальным ортогональным качеством 0,05 (рис. 6). Полученный в ходе автоматического построения сетки результат является непригодным к использованию по нескольким причинам:

- чрезвычайно низкий показатель минимального ортогонального качества. Он будет крайне негативно сказываться на будущем решении; из-за низкого показателя минимального ортогонального качества решение может быть неустойчивым и выдать неверные результаты численного моделирования
- чрезвычайно высокий показатель соотношения сторон (aspect ratio) – 1000. Значение, близкое к 1, является идеальным – это соотношение оказывает существенное влияние на результат расчета, и, если значение очень велико, может быть

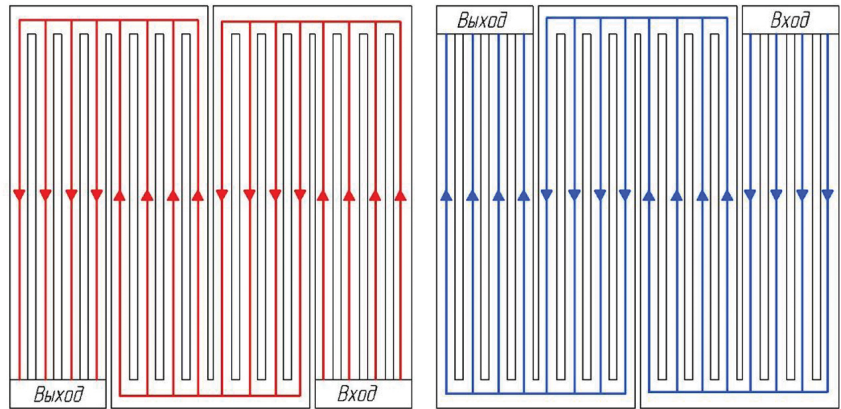
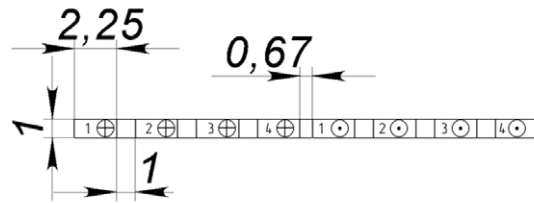


Рис. 4. Геометрия системы каналов подвода реагентов
Красный цвет – тракт катодной полости; голубой цвет – тракт анодной полости

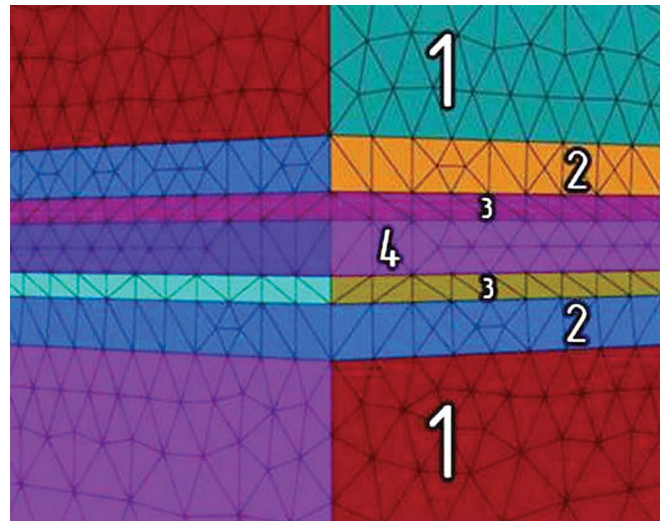


Рис. 5. Поверхностная сетка в области МЭБ
1 – ГДС; 2 – активный слой; 3 – слой катализатора; 4 – мембрана

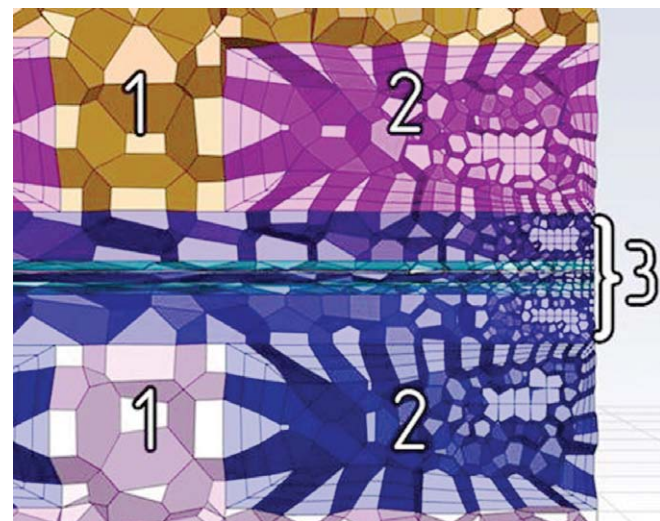


Рис. 6. Объемная сетка в области МЭБ
1 – токосъемная пластина; 2 – газовый канал; 3 – МЭБ

трудно получить нормальные результаты расчета за счет того, что в элементах могут возникать концентрации напряжений и прочие эффекты.

Для дальнейшего расчета была построена сложная сетка, которая состоит из тетраэдров в основном объеме (для описания движения газов в каналах и ГДС) и прямоугольных параллелепипедов (для описания переноса электронов и протонов в активных слоях, слое катализатора и мембране).

Расчетная сетка в виду ее сложности была построена в несколько этапов:

- построение прямоугольной сетки для мембраны, активных слоев, слоя катализатора, минимальное ортогональное качество – 1,00 (рис. 7, а);
- построение призматической конформной сетки для газодиффузионного слоя, который соединяется с токосъемом и системой каналов подводов, минимальное ортогональное качество – 0,63 (рис. 7, б);
- построение сетки с пристенным слоем для системы каналов и призматическая сетка для токосъемной пластины, минимальное ортогональное качество – 0,23 (рис. 7, в).

В результате была получена сетка, состоящая из 3,3 млн. ячеек с минимальным ортогональным качеством 0,23, максимальным соотношением сторон 37 и максимальной асимметрией 0,76. Данная сетка значительно превосходит по параметрам минимального ортогонального качества и максимального соотношения сторон сетку, построенную в среде Fluent Meshing.

Для данной сетки были проведены тестовые запуски расчета характеристик ТПТЭ в программном комплексе Ansys Fluent с подключением дополнительного модуля PEM Fuel Cell. В ходе вычислений было установлено, что сетка позволяет получить результаты, близкие к результатам испытаний реальных макетов ТПТЭ [1]. На данной сетке и модели возможно проведение последующих исследований полей ТПТЭ, а также данный способ построения сетки можно применять для будущих перспективных моделей ТПТЭ для анализа их электрохимических и газодинамических характеристик.

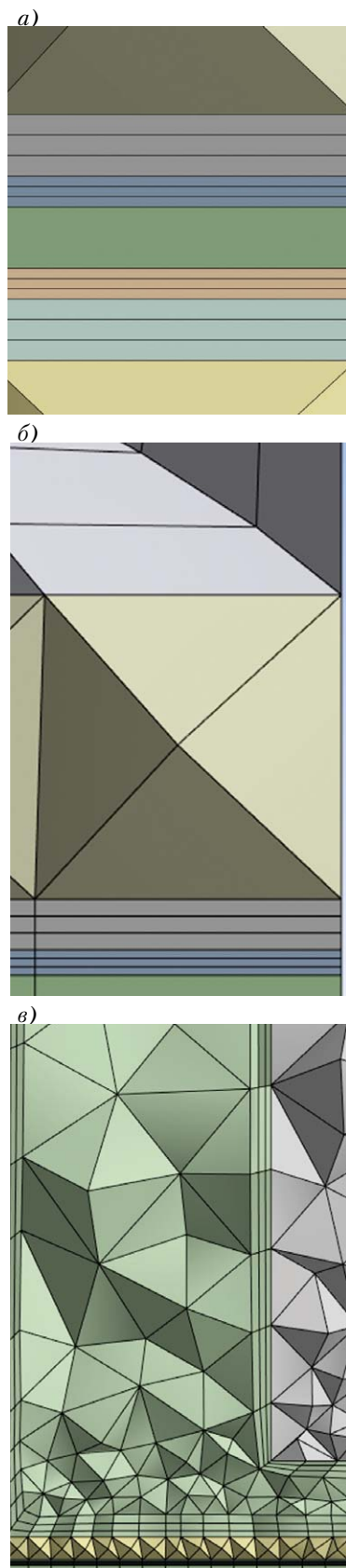


Рис. 7. Этапы построения расчетной сетки: а – сетка в области МЭБ; б – сетка в области ГДС; в – сетка в области газового канала

ВЫВОДЫ

В ходе работы была создана твердотельная модель ТПТЭ, которая включает в себя МЭБ и токосъемные пластины. Была рассмотрена возможность автоматического построения сетки в среде Fluent Meshing. Результат без точной настройки сетки признан неудовлетворительным ввиду низких показателей минимального ортогонального качества и соотношения сторон.

Построена конформная сетка в среде Mesh с показателем минимального ортогонального качества – 0,23. При тестовых запусках данная сетка показала результаты, схожие с экспериментальными данными, что позволяет использовать ее для дальнейших расчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов А. М., Макаров М. А. Алгоритм выполнения комплексного расчета электрохимического генератора и основные требования, предъявляемые к оборудованию энергоустановок на водороде // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – 2022. – № 3–2. – EDN SVSDZW.
2. Белов А. М., Гоняева С. С., Кожемякин В. В., Морозов Н. А. Численное моделирование гидродинамических процессов в тракте теплоносителя забортного теплообменного аппарата // Морские интеллектуальные технологии. – 2022. – № 4–2 (58). – С. 87–91. – DOI 10.37220/MIT.2022.58A.010. – EDN CUXPHM.
3. Добровольский Ю. А., Укше А. Б., Левченко А. В., Архангельский И. В., Ионов С. Г., Авдеев В. В., Алдошин С. М. Материалы для биполярных пластин топливных элементов на основе протонпроводящих мембран // Российский химический журнал. – 2006. – № 6. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/materialy-dlya-bipolyarnyh-plastin-toplivnyh-elementov-na-osnove-protonprovodyaschih-membran> (дата обращения: 23.04.2023).
4. ANSYS 2022 R2 Documentation, Ansys Fluent User's Guide. – Chapter 28. – ANSYS, Inc., 2022.
5. Рекомендации по качеству сетки для FLUENT – URL: <https://cae-club.ru/publications/rekomendacii-po-kachestvu-setki-dlya-fluent> (дата обращения: 23.04.2023). ■

Задача подавления излучаемого в морскую среду низкочастотного электромагнитного поля, как правило, представляет собой комплекс мер, главными среди которых являются технологии рационального проектирования токоведущих проводников электрооборудования и магнитное экранирование. Тем не менее в ряде случаев, когда применить по тем или иным причинам названные технологии не удается или они вступают в противоречие с иными требованиями, которые необходимо удовлетворить, применяют активные системы компенсации низкочастотных полей (АСК).

Как показала практика применения систем АСК в составе кораблей, проектирование эффективных АСК применительно к реальным условиям их эксплуатации наталкивается на ряд практических трудностей: сложная конструктивная конфигурация оборудования, выступающего в качестве объекта компенсации; недостаток данных, необходимых для проектирования и настройки; применение систем АСК «по остаточному принципу», следуя которому считается, что главное – эксплуатация объекта компенсации поля по прямому назначению, а система АСК устанавливается так, как получится.

Перечисленные аспекты практического опыта применения систем АСК снижают эффективность использования заложенных в них тактико-технических характеристик, в связи с чем следует обратить внимание на возможность повышения качества проектирования и эксплуатации этих систем. Обратимся к наиболее существенным деталям практического опыта.

РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПЕНСАЦИОННЫХ ОБМОТОК АСК

Рассмотрим типовой объект со сложной конструктивной конфигурацией, требующий установки системы АСК. Таким объектом на кораблях, как правило, является дизель-генератор, и, если быть точнее, генератор в его составе.

На рис. 1 показан типовой дизель-генератор, представляющий собой источник излучения низкочастотного электромагнитного поля. Система компенсационных обмоток, являющаяся исполнительной частью системы АСК, состоит из трех ортогональных обмоток, которые должны быть наложены на корпус генератора. При наложении обмоток на генератор должно строго соблюдаться требование их ортогональности и плоскостности во избежание искажения компенсационного поля, создаваемого обмотками.

На практике требования ортогональности и плоскостности при размещении обмоток соблюсти крайне трудно или

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ КОРАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Б.Ю. Семёнов, начальник сектора – главный конструктор направления СКЭМП,
Д.В. Чуйко, инженер 1-й категории направления СКЭМП,
АО «НПФ «Меридиан»,
контакт. тел. (812) 602 0364, доб. 526

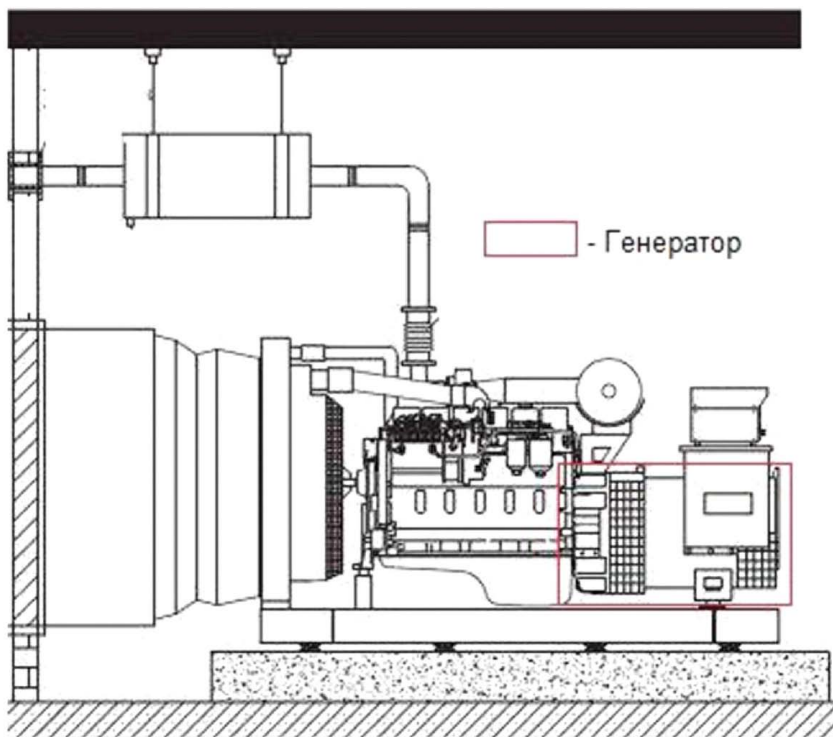


Рис. 1. Внешний вид типового дизель-генератора

просто невозможно. Через геометрический центр генератора, с которым должен совпадать геометрический центр системы обмоток, проходит вал ротора, в месте соединения дизеля с генератором установлен защитный кожух, рядом с корпусом генератора размещено штатное оборудование, мешающее прокладывать обмотки.

На рис. 2, а–в показана конфигурация компенсационных обмоток, которая образуется при их прокладке на корпусе

генератора, показанного на рисунках условно в виде цилиндра.

На рис. 2 хорошо видно, что наиболее близка к требуемой конфигурации прокладки обмотка компенсации компоненты X, охватывающая генератор по его диаметру. Обмотки компенсации компоненты Y и Z при прокладке обходят линию вала, однако имеют участки, которые повернуты на угол 90° и образуют «добавку» электромагнитного поля компоненты X.

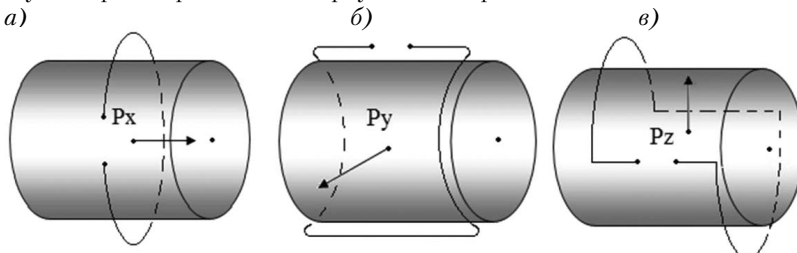


Рис. 2. Прокладка компенсационных обмоток на корпусе генератора: а – компонента X, б – компонента Y, в – компонента Z

Очевидно, что образующая помеха внесит ошибку в уровень компенсации поля компоненты X , ухудшает качество ее компенсации.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ОБЪЕКТА КОМПЕНСАЦИИ

Ряд технических данных, принципиально необходимых для проектирования АСК и относящихся к объекту компенсации, фактически получить на сегодняшний день невозможно. К этим данным, относятся прежде всего величины компонент X , Y , Z магнитных моментов излучаемого низкочастотного электромагнитного поля генераторов. Задача контроля и нормирования магнитных моментов перед производителями оборудования не ставилась в принципе, соответственно, производители не нормируют эти параметры и не могут предоставить проектантам АСК объективные исходные данные для расчета.

Более того, лабораторные измерения магнитных моментов, выполненные АО «НПФ «Меридиан» в процессе настройки уже спроектированных систем АСК, показали: разные образцы генераторов одного и того же типа могут иметь магнитные моменты, отличающиеся на порядок. Эти магнитные моменты также могут быть по-разному ориентированы в пространстве. По результатам этих измерений можно приблизительно установить экспертным способом максимальную величину магнитного момента, но выполнять настройки АСК, установленной на конкретном генераторе, приходится только после получения данных измерений непосредственно на объектах.

Учитывая, что компенсационные обмотки смонтированы в труднодоступных местах, при настройке АСК наладчики вынуждены проводить частичный их демонтаж, перепайки с изменением числа витков, выполнять повторный монтаж обмоток. Понятно, что трудоемкость выполнения таких операций очень высока. Более того, все описанные операции придется выполнять еще раз после любого ремонта дизель-генератора или его замены. Едва ли величина магнитных моментов нового изделия совпадет с магнитными моментами замененного образца.

Также, основываясь на исследованиях, связанных с использованием информации об излучаемом низкочастотном электромагнитном поле электрических машин в задачах диагностики их технического состояния, можно сделать не слишком оптимистичный вывод о том, что нормировать в процессе изготовления и поддерживать при эксплуатации определенный уровень поля, излучаемого генератором, не удастся в принципе. Например, в [1] показано: пазовые гармоники поля ротора электрической машины – а именно они являются причи-

ной излучения низкочастотного электромагнитного поля – существенно зависят от изменения эксцентриситета воздушного зазора «ротор–статор», нарастания точечных дефектов опорных подшипников, несоосности валов электрической машины и привода, ослабления креплений на фундаменте.

ТЕХНОЛОГИИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АСК

Изложенные выше недостатки систем АСК, выявленные в процессе проектирования, могут быть в значительной степени устранены, а итоговая эффективность настройки и эксплуатации повышена при условии изменения конструктивно-технологических принципов проектирования исполнительной части АСК.

На рис. 3 показан вариант ярусной размещения компенсационных обмоток с соблюдением условия ортогональности. В этом варианте генератор окружается жестким каркасом в виде куба или параллелепипеда, соответствующие обмотки прокладываются по его граням. Яруса обмоток охватывают генератор со всех сторон, не мешают его функционированию. В процессе эксплуатации подобное технологическое решение гораздо удобнее прямого наложения обмоток на корпус генератора, поскольку при выполнении регламентных работ этот каркас легче разъединить и собрать. Более того, можно организовать серийное изготовление каркасов с установленными обмотками в привязке к конкретным моделям дизель-генераторов. Составные части типа могут поставляться по техническим условиям как серийные изделия.

Второе технологическое решение направлено на минимизацию трудозатрат при настройке обмоток компенсации под параметры конкретного дизель-генератора и обеспечение серийной поставки обмоток в составе ярусной системы.

Наличие существенной неидентичности магнитных моментов у конкретных образцов генераторов приводит к необходимости индивидуальной подстройки обмоток. При этом обмотка становится унифицированной, рассчитанной на максимально возможный магнитный момент,

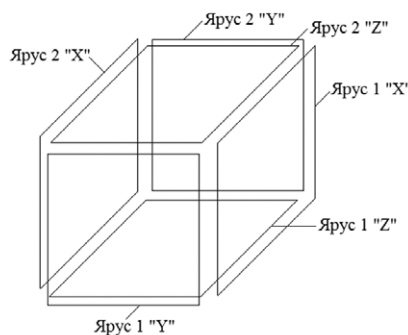


Рис. 3. Ярусная конструкция системы компенсационных обмоток

а в процессе настройки создаваемый магнитный момент необходимо снизить до величины, обеспечивающей компенсацию магнитного момента генератора. Каким образом обеспечить эту возможность?

Известное соотношение (1), на основании которого ведется расчет магнитного момента рамки с током P_m , содержит в себе три величины: ток в обмотке I , площадь рамки S и число витков w :

$$P_m = I \cdot S \cdot w. \quad (1)$$

Изменение площади контура S в условиях объекта представляется сложной задачей, которую, кроме всего прочего, необходимо выполнять оперативно. До некоторой степени регулировать магнитный момент можно величиной тока I , формируемого аппаратурой управления системой АСК. Однако, чем больше снижается это значение по сравнению с номинальным выходным током (для аппаратуры типа АПК-21 М номинальное значение выходного тока составляет 6,0 А), тем выше становится погрешность установки тока в нагрузку.

Таким образом, остается возможность регулировки магнитного момента путем уменьшения/увеличения количества витков w . Но и здесь таятся определенные сложности: при типовом количестве витков 5...7 регулировка магнитного момента окажется достаточно грубой. Более того, в процессе регулировки будет изменяться и величина активного сопротивления компенсационной обмотки, что повлияет на настройку аппаратуры управления.

Наиболее благоприятным условием регулировки магнитного момента компенсационной обмотки следует считать условие сохранения величины номинального тока в обмотке и ее активного сопротивления. Обеспечить это условие возможно, если воспользоваться методом дробного витка, широко применяющегося при проектировании систем компенсации постоянных магнитных полей.

На рис. 4 показан пример компенсационной обмотки АСК с дробным витком. Витки обмоток «1» «2», «3» условно показаны в виде последовательного соединения индуктивностей (L_1 , L_2 , L_3) и активного сопротивления проводника (R_1 , R_2 , R_3). Обмотка «3» выполнена дробной и условно разделена на части с индуктивностями (L_{3-1} , L_{3-2} , L_{3-3} , L_{3-4} , L_{3-5} , L_{3-6}), активными сопротивлениями (R_{3-1} , R_{3-2} , R_{3-3} , R_{3-4} , R_{3-5} , R_{3-6}). Дробные витки подключаются параллельно друг другу.

Регулировочное устройство представляет собой контакты (1–1, 1–2, 1–3, 1–4 и т. д.), к которым подключаются витки обмоток и дробные витки. При установке переключателя в положение «1» между контактами витки включаются согласные и магнитные моменты суммируются; в положении «2» магнитные моменты взаимно компенсируются.

Исходя из идеи, представленной на рис. 4, варианты конструкции обмоток могут быть самыми разнообразными: можно сделать все витки дробными; возможно неограниченно дробить витки для снижения дискретности регулировки; также можно заложить различную дискретность дробления для разных витков для грубой и тонкой регулировки магнитного момента.

А теперь немного о конструктивной реализации регулировочного устройства. Здесь на первый план выходят его размеры – они должны быть минимально возможными. Естественно, стандартные коробки ДУ, широко применяющиеся для построения корабельных систем компенсации постоянных магнитных полей, в данном случае не подойдут – слишком велики их размеры.

Обратим внимание на величину тока, протекающего через один дробный виток при их общем количестве 100 шт. и токе 6,0 А. Этот ток составит всего лишь 60 мА, поэтому для конструктивного оформления регулировочного устройства можно применить соединители, используемые в электронной технике, а сами соединители разместить на печатной плате с распайкой концов витков непосредственно в отверстие. Данные мероприятия существенно сократят объем защитной оболочки.

На рис. 5 показан пример наиболее компактных разъемных соединителей, выпускаемых отечественной промышленностью и с самой лучшей стороны зарекомендовавших себя в эксплуатации в составе электронной техники.

Удобство применения разъемного соединителя типа «джампер» (рис. 6) состоит в возможности его установки между соседними контактами как прямо, так и с разворотом на 90°. Таким образом, легко обеспечивается согласное или встречное включение дробных витков (рис. 7).

Из рис. 7 хорошо видно, что для настройки применительно к одному дробному витку достаточно установить в соответствующее положение всего два «джампера». Площадь, занимаемая таким регулировочным устройством, составит всего 7×7 мм.

Данное решение должно удовлетворить разработчика и по критерию нагрузки контактов соединения. Максимальная нагрузка для соединителя СНП346 составляет 1 А на один контакт, а для «джампера» СНП 386 – 3 А.

Техническое решение, связанное с необходимостью обеспечения разъемного соединения обмоток, может быть построено с применением малогабаритных соединителей с высокой плотностью контактов типа РСГ, выпускаемых отечественной промышленностью. Блочные части соединителей можно установить непосредственно на корпусе регулировочного устройства.

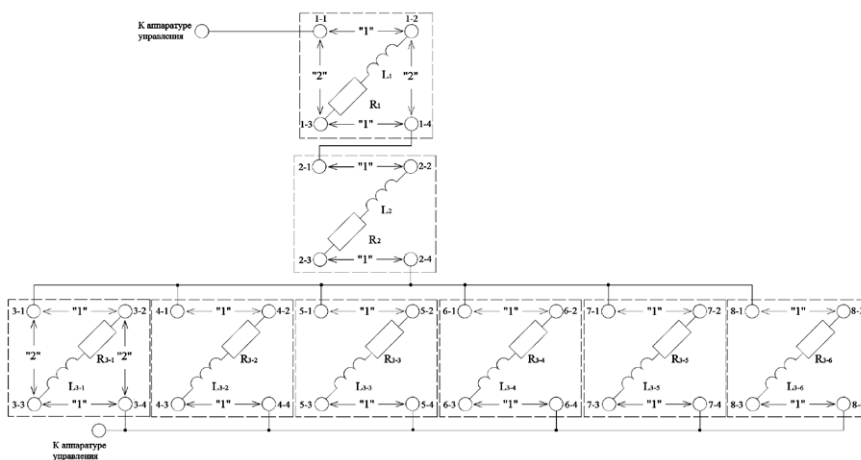


Рис. 4. Использование дробного витка для обмоток АСК

а)

б)

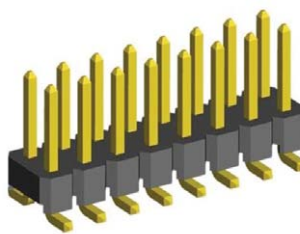


Рис. 5. Разъемные соединители для регулировочного устройства: а – СНП 346, б – СНП 386

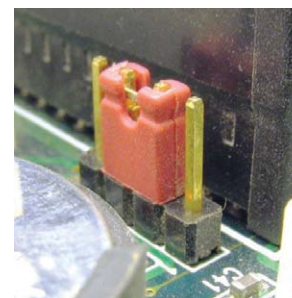
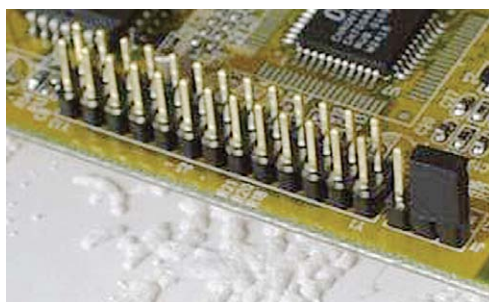


Рис. 6. Примеры применения соединения типа «джампер»

а)

б)

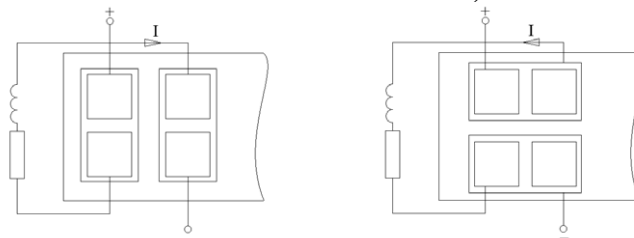


Рис. 7. Коммутация дробного витка посредством «джампера»: а – прямое направление тока, б – обратное направление тока

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проектировании корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей от разработчика требуется особо тщательное внимание к деталям. Зачастую пренебрежение к анализу хорошо известных принципов проектирования в приложении к данным системам, следование наработанным схемам и технологиям, приводят к резкому снижению эффективности применения систем АСК на объектах.

Сформулированный в настоящей статье подход требует конструкторской и натурной проработки, его реализация существенно повысит тактико-технические и эксплуатационные качества систем АСК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скляр А. В. О влиянии дефектов электромагнитной системы асинхронного двигателя на пазовые гармоники статорного тока // Омский научный вестник. – 2016. – № 4. ■

В настоящее время для связи с удаленными объектами широко применяются средства, работающие в коротковолновом диапазоне (КВ-диапазон). Такой вид связи применяют, например, крупные морские логистические компании для обеспечения связи в направлениях «берег – море», «море – море», а также для организации сетей связи с разнородными подвижными объектами, находящимися как на берегу, так и в море. При этом используются различные виды модуляции, одним из которых является широко применяемая амплитудная модуляция [1].

КВ-диапазон характеризуется наличием достаточно сильных помех в частотной полосе принимаемого сигнала, которые могут вносить существенные искажения его формы, что приводит к снижению качества связи [2]. Таким образом, обеспечение надежной, своевременной и достоверной связи с удаленными объектами – актуальная научно-техническая проблема.

С развитием средств вычислительной техники, прогрессом в развитии микроэлектроники появились новые принципы, методы и технологии, успешно применяемые при создании и эксплуатации средств и систем связи. Одним из подобных примеров является появление технологии программного радио (Software Defined Radio – SDR) [3]. Технология SDR основана на методах и алгоритмах цифровой обработки сигналов, которые продолжают интенсивно развиваться. В то же время разработка достаточно простых и устойчивых адаптивных методов и алгоритмов обработки принимаемых амплитудно-модулированных сигналов, работающих с высоким качеством при наличии интенсивных помех, остается весьма важной и актуальной научно-технической задачей [4, 5].

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В УЗКОПОЛОСНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

Рассмотрим дискретный цифровой сигнал, поступающий с выхода аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который преобразует аналоговый сигнал в цифровой, поступающий на вход АЦП с выхода усилителя промежуточной частоты (УПЧ) приемника SDR. Следует отметить, что подобные структуры SDR приемников нашли достаточно широкое применение [3]. Этот сигнал будет представлять собой аддитивную смесь цифровых отсчетов несущей (промежуточной) частоты, отсчетов информационного (принимаемого, полезного) сигнала, а также отсчеты аддитивного белого гауссовского шума (АБГШ), т. е. помехи. Аддитивная смесь полезного сигнала и отсчетов шума будут огибающей для последовательности отсчетов несущей частоты. Подобное представление соответствует аддитивной модели непрерывного канала связи [6].

Как правило, при передаче данных, речи, аналоговых данных телеметрии полезный сигнал представляет собой марковский случайный процесс. На выходе АЦП этот процесс представляет собой марковскую случайную последовательность (СП) [2, 6]. Следовательно, необходимо реализовать адаптивную процедуру фильтрации СП на фоне АБГШ. При этом параметры как СП, так и АБГШ могут динамично изменяться в достаточно широких пределах.

Решению этой задачи посвящено достаточно много работ [2, 4, 5 – 7]. Можно выделить следующие основные подхо-

МЕТОД АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В УЗКОПОЛОСНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

С.А. Агеев, д-р техн. наук, доцент, проф., ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, А.В. Богданов, канд. воен. наук, доцент, директор по НИОКР, А.А. Павлов, ген. директор, АО «НТИ «Радиосвязь»», контакт. тел. (812) 247 9400

ды к решению задачи фильтрации марковской СП на фоне АБГШ. *Первый подход* заключается в применении методов обработки сигналов в частотной области, основанных на применении быстрого преобразования Фурье (БПФ) и последующей фильтрации сигнала в частотной области с помощью цифровых фильтров соответствующих порядков [8]. В этом случае, как правило, применяются цифровые фильтры достаточно высоких порядков. При реализации адаптивных процедур их параметры должны изменяться в соответствии с динамикой изменения параметров помех, что вызывает некоторые трудности вычислительного характера [9].

Второй подход предполагает применение методов обработки сигналов во временной области на основе решения стохастических разностных уравнений с последующим переходом к рекуррентным процедурам оценки неизвестных параметров сигнала [5, 10, 11]. Одним из примеров подобного метода является метод расширенного фильтра Калмана (РФК) [10, 11].

К особенностям этих методов можно отнести то, что результирующие их точностные характеристики существенно зависят от величин возможных возмущений, а также от характеристик нелинейностей оцениваемых параметров [10, 11]. Следует отметить, что адаптивный РФК уже не является оптимальным алгоритмом [10]. Применение же адаптивного РФК для оценки параметров стохастического сигнала связано со значительными вычислительными затратами, необходимостью знания структуры модели сигнала и наблюдений, а также оценки параметров алгоритма с помощью предварительного математического моделирования, что вызывает значительные трудности при их технической реализации [5, 10]. Кроме этого, поведение стохастического сигнала может характеризоваться как внезапным изменением его характеристик, так и их плавными разладками, что также вызывает большие алгоритмические сложности при технической реализации этих алгоритмов [9, 10].

Надо также отметить, что кроме РФК существуют различные методы и алгоритмы нелинейной фильтрации [12], которые основаны на предварительном оценивании условных плотностей распределения значений стохастического сигнала и на предварительном оценивании текущих значений его условных ковариаций, что также вызывает большие вычислительные трудности [5, 12].

В [13, 14] показано, что одним из конструктивных подходов к решению задачи оценки параметров СП при нелинейных моделях наблюдений является метод условной нелинейной Парето – оптимальной фильтрации, суть которого состоит в том, что оценка неизвестного параметра проводится в два этапа. На первом вычисляется функция прогноза оценки параметра, а на втором с помощью выбранных корректирующих функций и полученной дополнительной апостериорной информации о значении этой оценки, выполняют ее коррекцию (уточнение).

МЕТОД И АЛГОРИТМ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ В УЗКОПОЛОСНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ КАНАЛАХ СВЯЗИ КОРОТКОВОЛНОВОГО ДИАПАЗОНА

В сформулированной выше постановке задачи адаптивной фильтрации модели сигнала и его наблюдений на выходе АЦП можно представить в виде СП, заданных в дискретные моменты времени $i = \{1, 2, \dots, n, \dots\}$:

модель формирующего фильтра сигнала

$$s(i) = F(s(i-1)) + \xi(i),$$

модель наблюдений $x(i) = s(i) + w(i)$,

(1)

где $F(\cdot)$ – неслучайная линейная функция, которая может быть и неизвестна; $\xi(i)$ – порождающая сигнал гауссовская некоррелированная СП с нулевым математическим ожиданием и конечной дисперсией; $s(i)$ – отсчеты значений стохастического сигнала; $w(i)$ – АБГШ, $M\{w(i)\} = 0$ и $D\{w(i)\} = \sigma_w^2$, присутствующий в канале связи.

Отметим, что модель (1) и сделанные допущения определяют нестационарную марковскую последовательность [11].

Требуется построить рекуррентную процедуру оценки значений СП $s(i)$ по критерию минимума среднего квадрата ошибки, т. е.

$$J_s(i) = M\{\sigma_{\text{ок}}^2\} = M(s(i) - \hat{s}(i))^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где $\hat{s}(i)$ – оценка математического ожидания СП $x(i)$ на шаге i , а $s(i)$ – его истинное значение.

Функция прогноза для текущего значения математического ожидания СП определяется как [15, 16]:

$$\hat{s}(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N s(i-k) \quad i = 1 \ 2 \ \dots \ n \ \dots \quad (3)$$

где N – размер скользящего окна, который выбирается относительно небольшого размера.

Корректирующие значения оценки процедуру будем строить следующим образом. Как правило, значение функционала $J_s(i)$ недоступно наблюдению, а доступна наблюдению только случайная реализация его градиента со случайной ошибкой, т. е.

$$\nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i)) = \nabla J_s(\hat{s}(i)) + \varepsilon(i), \varepsilon \in R, \quad (4)$$

где ε – ошибка наблюдения градиента.

Допустим, что $\varepsilon(i)$ – центрированные, некоррелированные ошибки оценки градиента функционала качества. Функционал (4) минимизируется с помощью рекуррентной процедуры вида [17 – 19]

$$\hat{s}(i+1) = \hat{s}(i) - \mu_s(i+1) \nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i+1)), \quad (5)$$

где $\nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i+1))$ – некоторое случайное направление движения в фазовом пространстве в точке $\hat{s}(i+1)$; $\hat{s}(i)$ – скорректированная оценка сигнала на предыдущем шаге; $\{\mu_s\}$ – последовательность положительных чисел, которая для стационарной СП, должна удовлетворять условиям [17, 18]:

$$\sum_{i=1}^{\infty} \mu_s(i) = \infty, \quad \sum_{i=1}^{\infty} \mu_s^2(i) < \infty, \quad (6)$$

где $\{\mu_s(i)\}$ – коэффициенты шага алгоритма.

Известно, что вектор $\nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i))$ называется псевдоградиентом в точке $\hat{s}(i)$, если в этой точке выполняется условие [17, 18]:

$$\nabla J_s(\hat{s}(i-1)) \cdot M\{\nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i))\} \geq 0, \quad (7)$$

где $M\{\cdot\}$ – операция математического ожидания.

Реализацию функционала качества в точке $\hat{s}(i+1)$ можно представить следующим образом [15– 17]:

$$Q(\hat{s}(i+1)) = (\hat{s}(i+1) - \hat{s}(i))^2. \quad (8)$$

Далее, после несложных преобразований рекуррентный псевдоградиентный алгоритм (ПГА) корректировки текущих значений оценок сигнала, с учётом знаков, будет иметь вид

$$\hat{s}(i+1) = \hat{s}(i) + \mu_s(i+1) (\nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i+1)) - \hat{s}(i)). \quad (9)$$

Следует отметить одно важное свойство разработанного алгоритма, а именно то, что его структура не зависит от статистических характеристик СП $x(i)$. Это является следствием центральной предельной теоремы [20]. Таким образом, для любых вероятностных характеристик наблюдений СП $x(i)$, структура алгоритма (9) постоянна с точностью до значений его параметров.

Для оценивания параметров нестационарных СП $x(i)$ условие (6) ограничивает применение алгоритма (9), так как алгоритм должен отслеживать изменения значения параметра сигнала в соответствии с динамикой его изменения. Поэтому последовательность $\{\mu_s\}$ ограничивается снизу постоянными значениями. Как следствие выбора ограниченного коэффициента шага дисперсия ошибки оценки параметра СП $x(i)$ также будет ограничена снизу. Поэтому необходимо найти компромисс между скоростью и точностью оценивания значений СП $x(i)$ [15 – 17].

В разработанном алгоритме предлагается при выборе текущего значения коэффициента шага учитывать динамику изменения оцениваемых параметров и характеристик СП. Очевидно, что модуль оценки градиента функционала качества пропорционален динамическим свойствам СП. Подобные зависимости носят характер трудноформализуемых задач, поэтому предлагается процедуру выбора коэффициента шага в (9) автоматизировать на основе метода нечеткого вывода Такаги–Суэно или на основе его частного вида – синглтонного метода [15, 16, 21, 22], имеющего следующий вид:

$$\begin{aligned} &\text{если } \langle \nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i)) \in MS1 \rangle, \text{ то } \mu_s(i+1) = \gamma_1; \\ &\text{если } \langle \nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i)) \in MS2 \rangle, \text{ то } \mu_s(i+1) = \gamma_2; \\ &\text{если } \langle \nabla Q(\varepsilon, \hat{s}(i)) \in MSn \rangle, \text{ то } \mu_s(i+1) = \gamma_n. \end{aligned} \quad (10)$$

где MSi – области значений оценок градиента функционала качества, γ_i – конкретные значения коэффициента шага в процедуре (9), соответствующие текущей оценке модуля градиента функционала качества. Правила (10) определяются на этапе предварительного обучения системы нечеткого логического вывода, а сам процесс предварительного обучения системы нечеткого логического вывода может быть достаточно просто автоматизирован [21, 22].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ НА ФОНЕ ШУМОВ

Математическое моделирование проверки эффективности алгоритма адаптивной фильтрации сигналов в узкополосных непрерывных каналах связи проводилось для сигналов, имеющих нормальное распределение. Отсчеты сигнала моделировались марковской СП авторегрессии первого порядка (АР-1) [11]. Модель сигнала и текущих наблюдений в этом случае имеет вид

$$\begin{aligned} s(i) &= \rho \cdot s(i-1) + \sigma_s \sqrt{1-\rho^2} \cdot \xi(i+1); \\ x(i) &= s(i) + w(i), \end{aligned} \quad (11)$$

где ρ – коэффициент корреляции АР – 1; σ_s – среднеквадратическое отклонение (СКО) АР – 1; $\xi(i+1)$ – значение независимой случайной величины формирующего фильтра в момент времени $i+1$, имеющей распределение $N(0;1)$; $\sigma_s = \sigma_\xi / \sqrt{1-\rho^2}$; ρ – значение коэффициента корреляции СП АР – 1;

$$R_s(k) = \rho^{|k|} = e^{-\alpha|k|},$$

где $\alpha = -\ln \rho$; $w(i)$ – некоррелированный АБГШ с нулевым средним и постоянной дисперсией σ_w^2 .

По текущим значениям наблюдений $x(i)$ необходимо построить оценку $\hat{s}(i)$.

На рис. 1 представлены результаты фильтрации при отношении сигнал/шум, равном $h^2 = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_w^2} = 1$, и $\rho = 0,999$. На рис. 1, а показан сигнал на выходе АЦП, который представляет собой огибающую последовательности отсчетов модулируемого колебания на промежуточной частоте; на рис. 1, б представлено модельное (истинное) значение сигнала $s(i)$, а на рис. 1, в – результат фильтрации сигнала $x(i)$. В ходе проведенного численного эксперимента получено значение средней относительной погрешности, равное $\delta \approx 1,1\%$. В этом эксперименте величина скользящего окна равна $N = 20$.

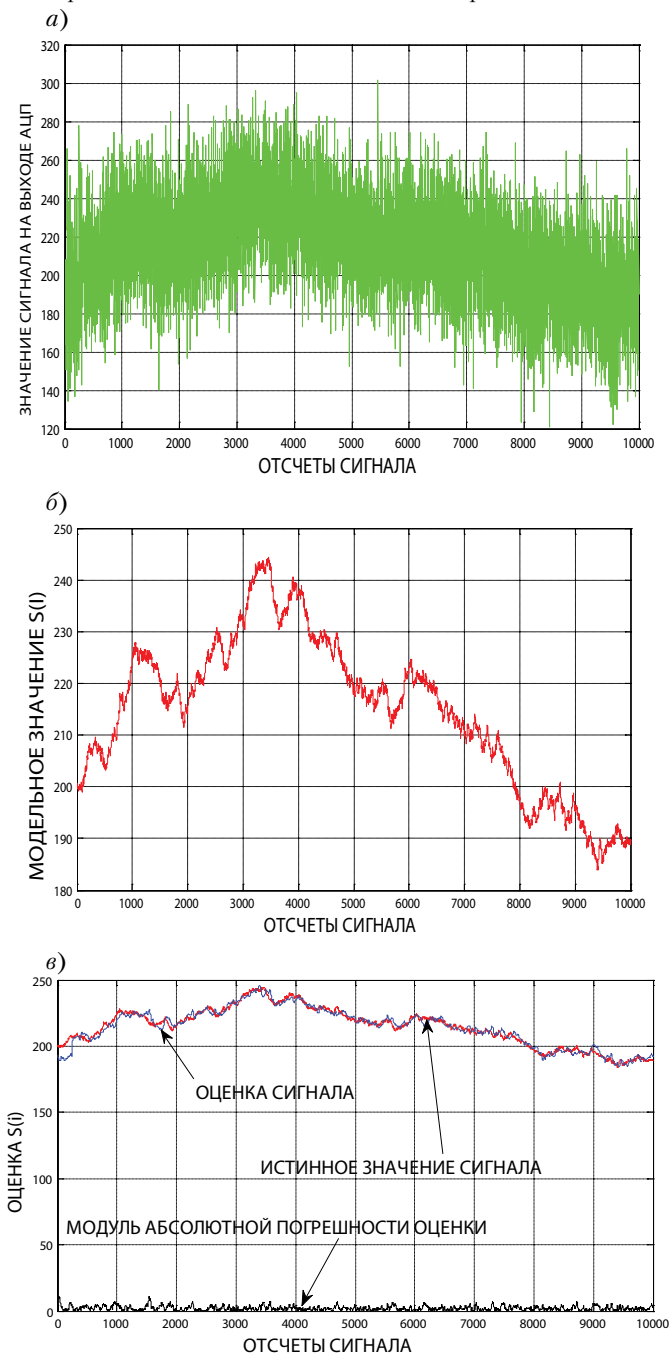


Рис. 1. Фильтрация стохастического сигнала на фоне АБГШ: а – отсчеты сигнала на выходе АЦП, б – модельное (истинное) значение сигнала $s(i)$, в – результаты оценки значений сигнала $s(i)$ ($\delta \approx 1,1\%$)

На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости $\delta(\%) = \varphi(h^2)$ средней относительной погрешности от отношения сигнал/шум для различных коэффициентов корреляции стохастического сигнала.

В этом численном эксперименте среднеквадратическое значение АБГШ (СКО) $\sigma_w = 20$, амплитуда отсчетов колеба-

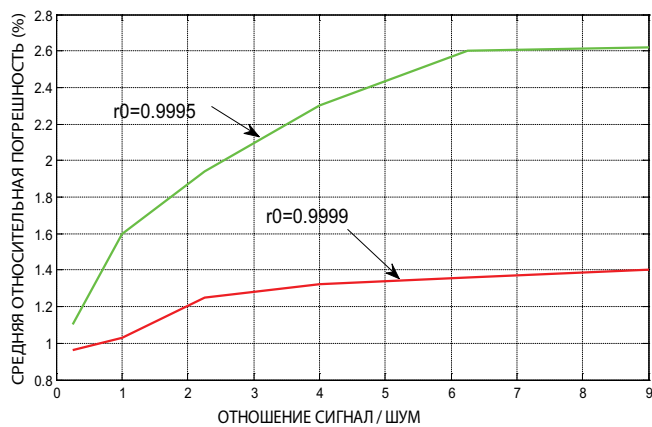


Рис. 2. Зависимости средней относительной погрешности от отношения сигнал/шум ($\delta(\%) = \varphi(h^2)$)

ний промежуточной частоты $A_{f_{пр}} = 200$. Оценки проводились для коэффициентов корреляции информационного сигнала, равных $\rho_1 = 0,9999$ и $\rho_2 = 0,9995$. С увеличением значения h^2 для обоих процессов наблюдалось некоторое небольшое возрастание значения δ , далее при увеличении h^2 значение средней относительной погрешности стабилизировалось. Для $\rho_1 = 0,9999$ значение средней относительной погрешности стабилизировалось на уровне 1,4%, а для $\rho_2 = 0,9995$ – на уровне 2,6%. Это явление можно объяснить тем, что с ростом значения h^2 при постоянной дисперсии шума значительно возрастает динамика изменения значений сигнала $s(i)$, а с уменьшением значения коэффициента корреляции, расширяется амплитудный спектр $s(i)$, появляются дополнительные спектральные составляющие.

Проведенные численные эксперименты показали высокую эффективность разработанного метода и реализующего его алгоритма адаптивной фильтрации сигналов на фоне шума с высокой интенсивностью. Средняя относительная погрешность оценки формы стохастического сигнала не превысила значения $\delta \leq 3,2\%$, при дисперсии шума была соизмерима с дисперсией стохастического сигнала. Полученное значение средней относительной ошибки оценивания является достаточным для обеспечения высокой достоверности принимаемого сигнала.

Следует отметить, что разработанные адаптивный метод и алгоритм фильтрации сигналов являются достаточно универсальными. При их работе не требуются априорные данные о форме и параметрах сигналов.

Как показали проведенные численные эксперименты, данный метод можно успешно применять и для фильтрации детерминированных сигналов. Подобный пример представлен на рис. 3, где приведены результаты фильтрации прямоугольного радиоимпульса на фоне сильных шумов. В эксперименте СКО шума равнялось амплитуде сигнала.

Далее сигнал, полученный после процедуры фильтрации, может быть обработан уже известными методами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложен метод и реализующий его алгоритм оценки сигнала на фоне шумов с высокой интенсивностью. Разработанный алгоритм функционирует в режиме реального времени с качеством, достаточным для обеспечения требуемой достоверности принимаемого сигнала. Полученная в результате проведения многочисленных численных экспериментов средняя относительная погрешность оценки сигналов не превысила значения 3,2%.

Проведенный в работе анализ показал возможность достаточно простой технической реализации этого алгоритма как на перспективной аппаратно-программной платформе, так и на уже существующей.

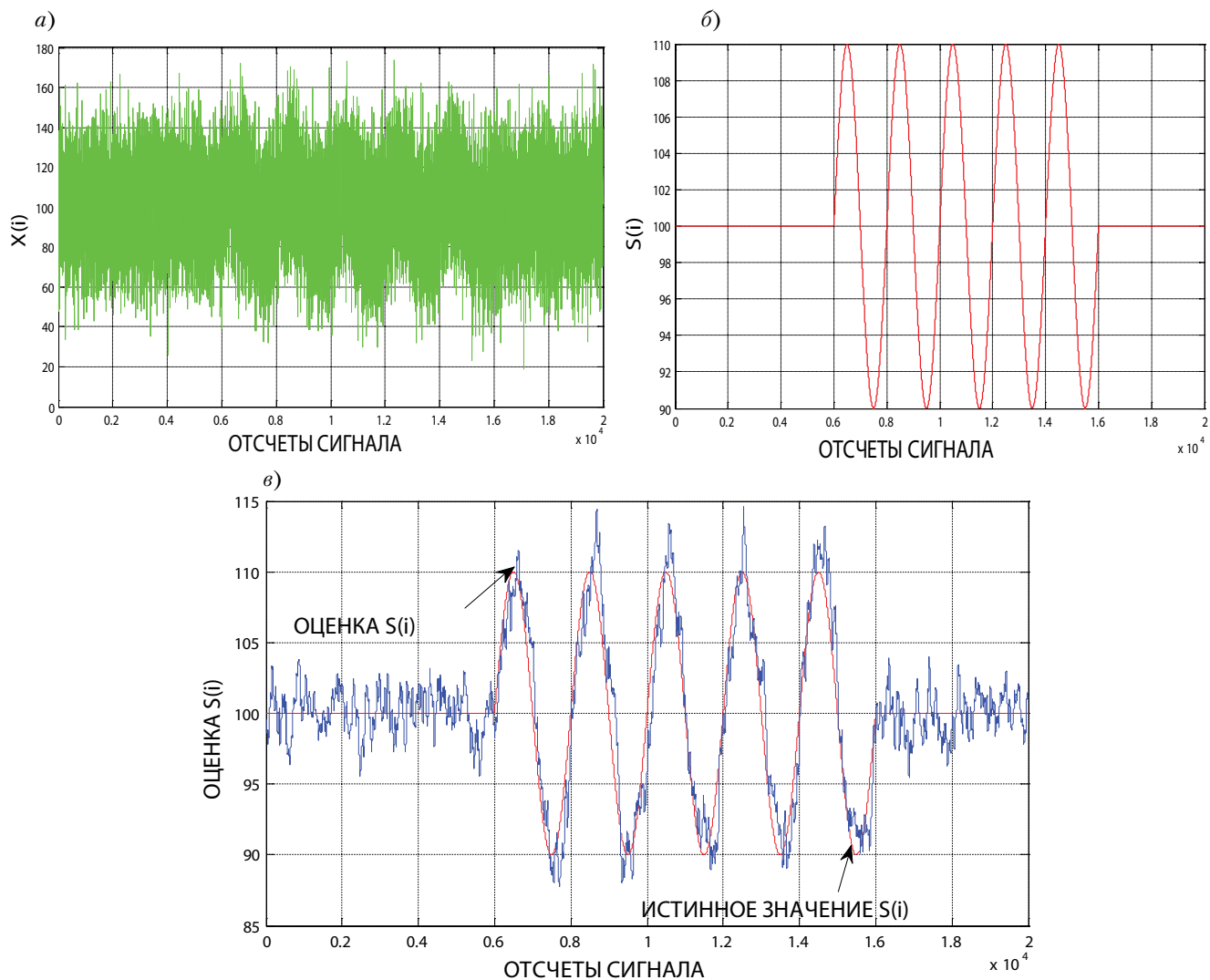


Рис. 3. Результаты фильтрации радиоимпульса: а – отсчеты сигнала, поступающие с выхода АЦП, б – форма фильтруемого радиоимпульса, в – оценка формы радиоимпульса

ЛИТЕРАТУРА

1. Катанович А. А., Нероба Г. С. Комплексы и системы связи надводных кораблей. – СПб.: Судостроение, 2006. – 312 с.
2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: ИД «Вильямс», 2003. – 1104 с.
3. Силин А. Технология Software Defined Radio. Теория, принципы и примеры аппаратных платформ // Беспроводные технологии. – 2007. – №2. – С. 22–27.
4. Шахтарин Б. И. Обнаружение сигналов. Учеб. пособ для вузов. – 3-е изд. испр. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 464 с.
5. Сосулин Ю. Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. – М.: Сов.радио, 1978. – 320 с.
6. Зюко А. Г., Кловский Д. Д., Коржик В. И., Назаров М. В. Теория электрической связи. Учебник для вузов // Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
7. Варакин Л. Е. Теория систем сигналов. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.
8. Солонина А. И., Арбузов С. М. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB: Учеб. пособие. – СПб.: БХВ–Петербург, 2008. – 816 с.
9. Опенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – Изд. 3-е, испр. – М.: Техносфера, 2019. – 1048 с.
10. Ситицын И. Н. Фильтры Калмана и Пугачева; Учеб. пособие. – М.: Университ. кн., Логос, 2006. – 640 с.
11. Миллер Б. М., Панков А. Р. Теория случайных процессов в примерах и задачах. – М.: Физматгиздат, 2007. – 320 с.
12. Тихонов В. И., Кульман Н. К. Нелинейная фильтрация и квазикогерентный прием сигналов. – М.: Сов. радио, 1975. – 704 с.
13. Пугачев В. С. Обобщение теории условно оптимального оценивания и экстраполяции // Докл. АН СССР. – 1982. – Т.262. – №3. – С. 535 – 538.
14. Пугачев В. С. Условно оптимальная фильтрация и экстраполяция непрерывных процессов // Автоматика и телемеханика. – 1984. – №2. – С. 82 – 89.
15. Ageev S. A., Saenko I. B., Kotenko I. V. Method and Algorithms of Anomaly Detection in Multiservice Network Traffic based on Fuzzy Logical Inference // Informatsionno – upravliaiushchie systemy [Information and Control systems]. – 2018. – № 3. – P.61 – 68.
16. Ageev S., Karetnikov V., Ol'khovik E., Privalov A. Adaptive method of detecting traffic anomalies in high-speed multi-service communication networks. – In: E3S Web of Conferences. Key Trends in Transportation Innovation, КТТИ 2019, 2020, p. 04027.
17. Поляк Б. Т., Цыткин Я. З. Псевдоградиентные алгоритмы адаптации и обучения // Автоматика и телемеханика. – 1973. – № 3. – С. 45–63.
18. Поляк Б. Т., Цыткин Я. З. Оптимальные псевдоградиентные алгоритмы адаптации // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 8. – С. 74–84.
19. Граничин О. Н., Поляк Б. Т. Рандомизированные алгоритмы оптимизации и оценивания при почти произвольных помехах. – М.: Наука, 2003. – 291 с.
20. Крамер Г. Математические методы статистики: Пер. с англ./ Под ред. А. Н. Колмогорова. – М.: Мир, 1976. – 632 с.
21. Takagi, T., Sugeno, M. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control // IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics. – 1985. – Vol.15. – №.1. – P.11–132.
22. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление./ Пер. с англ. – 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с. – (Адаптивные и интеллектуальные системы). ■

Как известно, во времена СССР в стране производилась почти вся необходимая номенклатура электронных компонентов, что, в свою очередь, позволяло самостоятельно выпускать как бытовую радиоэлектронную аппаратуру, так и аппаратуру специального назначения. За рубежом, как правило, закупались лишь отдельные штучные образцы и то, по большей части, для их изучения и дальнейшего производства аналогов из отечественных электронных компонентов и материалов.

После распада СССР выпуск радиоэлектронной аппаратуры значительно сократился, соответственно, и выпуск компонентов тоже. Спустя годы, это привело к тому, что собирать современную электронную технику как для бытового использования, так и для целого ряда отраслей промышленности стало просто не из чего. Тогда в технику, в том числе, что особенно важно, технику специального назначения, стала все шире и шире проникать импортная элементная база. Это казалось логичным, ведь импортная элементная база была очень привлекательна по целому ряду параметров: качеству, цене, доступности информации об образцах и удобству применения.

Однако со временем в связи с изменением ситуации в мировой политике перед многими отраслями отечественной промышленности, оказавшимися уязвимыми вследствие ограничительных действий западных стран, перед радиоэлектронной промышленностью встала проблема отсутствия целого ряда необходимых для выпуска продукции компонентов и материалов. Особенно опасным для технологической безопасности России это становится, если учесть, насколько важна радиоэлектронная продукция для других, казалось бы, совершенно с ней не связанных областей деятельности человека.

Очевидно, что номенклатура радиоэлектронных компонентов и изделий, требующих импортозамещения, просто огромна, в связи с чем сегодня принимаются меры в масштабах государства.

Если же говорить о конкретных примерах, то в настоящее время в России полностью отсутствуют предложения, в частности, отечественных высокочастотных генераторных и усилительных модулей большой мощности в виде готовых унифицированных изделий, закрывающих определенный номенклатурный ряд частот и мощностей. При этом в мире существуют фирмы, предлагающие подобные модули, однако, по понятным причинам, доступ российских компаний к ним фактически, закрыт.

Таким образом, разработчики конечной радиотехнической продукции вынуждены проектировать изделия, на-

ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРАКТИКА СОЗДАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ГЕНЕРАТОРНЫХ МОДУЛЕЙ

*А.А. Камшилин, директор ООО «Мощная радиотехника»,
А.В. Новиков, канд. техн. наук, доцент, декан факультета
Кораблестроения и океанотехники СПбГМТУ,
А.А. Бармин, канд. техн. наук, директор,
С.А. Наумов, начальник отдела НИОКР,
Центр инновационных исследований АО «ГНИНГИ»,
контакт. тел. +7 (903) 653 5517, +7 (905) 226 3649, +7 (921) 368 9184,
+7 (921) 335 3247*

чиная каждый раз с дискретных комплекующих, что приводит к неоправданным издержкам. Зачастую несколько конструкторских бюро вынуждены тратить ресурсы на разработку мощной части высокочастотной аппаратуры, отвечающей схожим и даже идентичным техническим требованиям.

Наличие на российском рынке готовых типовых высокочастотных генераторных модулей, отвечающих основным требованиям к типовой высокочастотной аппаратуре, позволило бы снизить затраты на ее разработку и запуск в производство, повысить эксплуатационные качества, упростить обслуживание и ремонт.

Для понимания масштабов проблемы следует отметить, что типовые высокочастотные генераторные модули служат для быстрого проектирования и построения высокочастотных генераторов. В свою очередь, высокочастотные генераторы высокой мощности в настоящее время находят применение в качестве:

- источников высокочастотной энергии для установок ионно-плазменного напыления, плазмохимического травления, плазменной очистки поверхностей (составная часть технологического процесса при производстве всего спектра изделий микроэлектроники, упрочнение поверхностей, нанесение функциональных покрытий в машиностроении и пр.);
- источников высокочастотного питания газовых CO/CO₂ лазеров (технологические лазеры резки, гравировки, обработки поверхностей в машиностроении и пр.);
- компонентов медицинского оборудования (установки компьютерной томографии, магниторезонансные томографы и т. д.);
- источников высокочастотной энергии для электрических ракетных двигателей, в том числе новейших

геликонных плазменных двигателей для дальнего космоса;

- источников высокочастотного поля разгонных секций ускорителей заряженных частиц;
- источников высокочастотной энергии для сушильных камер;
- компонентов установок или отдельных лабораторного оборудования для научных исследований в области физики плазмы и плазменных прикладных технологий.

Приведенный перечень возможных применений высокочастотных генераторов далеко не полон, но даже он дает право утверждать, что создание генераторных модулей имеет важное значение для обеспечения технологической независимости в таких областях, как микроэлектронная промышленность, космическое аппаратостроение, медицина, станкостроение. Кроме того, производство отечественных высокочастотных генераторных модулей позволит значительно повысить степень локализации конечной продукции.

Учитывая вышесказанное, ООО «Мощная радиотехника» инициировало и при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) реализует проект «Создание и коммерциализация изделия «высокочастотный генераторный модуль». На сегодняшний день работы по проекту вышли на финишную прямую, и уже можно констатировать, что они будут успешно завершены в намеченные сроки.

Стоит отметить, что ООО «Мощная радиотехника» уже имеет довольно значительный научный и технологический задел в этой области. Так, в инициативном порядке были разработаны и производились модули предыдущего поколения. Они применялись при производстве собственной конечной продукции – мощных высокочастотных ге-

нераторов. Однако ряд существенных особенностей требовал дальнейшего развития и совершенствования:

1. Объем производства был рассчитан только на покрытие собственных нужд ООО «Мощная радиотехника» при производстве собственных высокочастотных генераторов. Недостаточно высокая технологичность конструкции затрудняла увеличение объема производства.

2. Уровень универсальности изделия не позволял применять данные модули в аппаратуре сторонних изготовителей (сложность инсталляции и адаптации под требования конкретной аппаратуры) в силу того, что модули разрабатывались исключительно для собственных нужд.

3. Модули разрабатывались без ограничений по применению импортной ЭКБ.

4. Модули разрабатывались на научно-технической базе предыдущего уровня.

В ходе проекта потребовалось решить следующие научно-технические задачи:

- разработка высокоэффективного, энергосберегающего, с высоким КПД усилительно-генераторного высокочастотного каскада с надежностью, отвечающей тяжелым условиям эксплуатации в части нестационарных нагрузок и высоких температур;
- исследование и применение в модуле наиболее перспективных на сегодняшний день режимов работы мощных высокочастотных каскадов – классы E, F, F-1, DE и пр.;
- разработка конструкции теплообменников интенсивного охлаждения высокочастотных генераторных структур с малыми массогабаритными характеристиками, в том числе разработка технологического процесса наварки высокочастотных транзисторов на теплообменники;
- разработка взаимовязанной по частотам и мощностям линейки высокочастотных генераторных модулей;
- кардинальное повышение доли отечественной компонентной базы в разрабатываемом модуле и, как следствие, в конечной продукции, построенной на основе модулей.

Комплекс работ проекта включал в себя:

1. Анализ российского и мирового опыта конструирования аналоговых высокочастотных устройств, включающий анализ технических решений и комплектующей базы.

2. Определение конструктивно-технического облика нового высокочастотного генераторного модуля, основных технических аспектов его построения.

3. Разработка эскизной конструкторской документации в объеме, достаточном для изготовления и испытаний макетов высокочастотных генераторных модулей.

4. Испытания макетов и последующий анализ полученных результатов.

5. Определение перечня необходимых доработок макетов и последующая корректировка конструкторской документации.

6. Изготовление опытных образцов высокочастотных генераторных модулей.

7. Проведение заводских испытаний на опытных образцах.

8. Оформление полного пакета рабочей конструкторской документации в соответствии с ЕСКД в объеме, необходимом для передачи в серийное производство.

В качестве основных особенностей создаваемого в рамках проекта высокочастотного генераторного модуля стоит отметить следующее:

- модуль спроектирован на основе самой современной электронной компонентной базы с максимальным применением отечественных комплектующих;
- режимы работы силовых элементов высокочастотного генераторного модуля позволят обеспечить максимальную эффективность;
- обеспечена максимально возможная применяемость модулей в радиоэлектронной аппаратуре различного назначения;
- схемотехника создаваемого модуля позволяет работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме с высокоскоростной амплитудной модуляцией.

Максимальная эффективность силовой части модуля обеспечивается за счет применения наиболее перспективных в части повышения КПД резонансных режимов работы усилительной части – режимов класса E и EF.

В подавляющем большинстве вариантов применения высокочастотного генераторного модуля требуется работа высокочастотного тракта с амплитудной модуляцией. Для высокочастотных каскадов в классе E (резонансных усилителей) реализация высокоскоростной (до 50 кГц) импульсной модуляции является нерешенной задачей. В настоящее время считается, что модуляцию резонансных усилителей можно осуществлять только путем модуляции питания. Такой метод известен давно, однако он не позволяет получить высокую частоту радиоимпульсов и, кроме того, снижает суммарный КПД модуля, внося неизбежные потери в питание. Также считается, и вполне обосновано, что модуляцию непосредственно высокочастотным сигналом в резонансных усилителях осуществить невозможно (при сохранении надежности работы) именно в силу их резонансных свойств.

В рамках проекта предложен вариант построения задающей части моду-

ля, обеспечивающий высокоскоростную модуляцию без использования модуляции питания.

Для максимальной применяемости разработана универсальная платформа построения высокочастотного генераторного модуля, легко адаптируемая под конкретное применение путем агрегатируемости конструкции, применения сменных опционных подмодулей на уровне микросборок или миниатюрных печатных модулей (плат). В дальнейшем это позволит увеличить складские запасы базовой части и уменьшить сроки поставки изделий под конкретные задачи.

Стоит отметить, что на сегодняшний день ни одна из компаний высокочастотные модули на серийном рынке не предлагает, только законченные изделия в виде высокочастотных генераторных блоков. Другие компании в России и в мире (RES ingenium, FMK Broadcast, RFP Italy, Ital Mec, Delta RF Technology, On-Air, Digital & Microwave Systems Technology и пр.) предлагают широкий ассортимент модулей (pallet), однако это модули совсем иного класса, предназначенные для построения радио-телевизионных передатчиков и передатчиков систем связи. Они по определению должны быть линейными, менее мощными, с относительно низким КПД. Эти модули работают только в усилительном режиме, без автогенерации.

При проектировании высокочастотного генераторного модуля одной из важнейших задач было максимальное применение отечественной компонентной базы, не противоречащей требованиям по надежности и конкурентоспособности изделия в целом. На сегодняшний день эта задача успешно решена, и уровень применения отечественных комплектующих в изделии достигает более 90%.

Все созданные в ходе проекта макеты высокочастотных генераторных модулей успешно прошли испытания, результаты которых были проанализированы, с учетом этого определен окончательный технический облик изделий, подготовлена рабочая конструкторская документация на опытные образцы и скорректированы схемы деления в соответствии с новым техническим обликом изделий. Также разработана конструкторская документация на технологические приспособления для испытаний макетов и опытных образцов высокочастотных генераторных модулей и технологическая документация – инструкции по сборке, настройке и технологической тренировке высокочастотных генераторных модулей. На рис. 1 и рис. 2 представлены два из созданных в ходе выполнения проекта шести макетов высокочастотных генераторных модулей.

Создаваемые в ходе проекта высокочастотные генераторные модули яв-

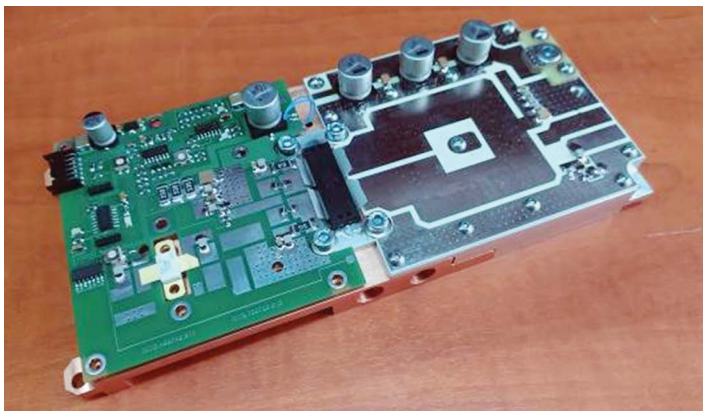


Рис. 1. Макет модуля 81,36 МГц мощностью 1 и 2 кВт

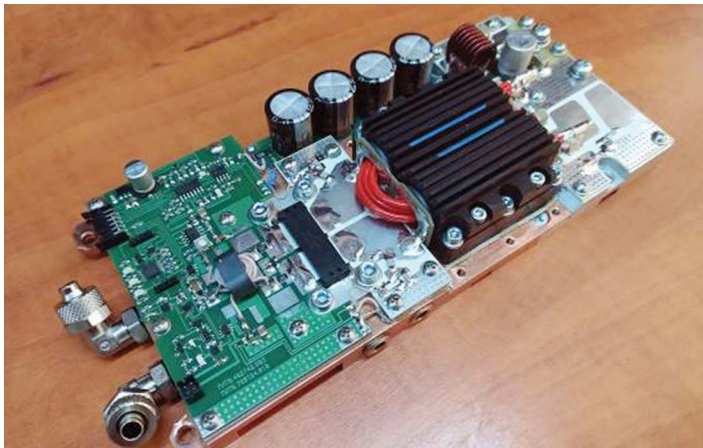


Рис. 2. Макет модуля 13,56 МГц, собранный под мощность 1 кВт

яются высоконагруженными изделиями высокочастотной радиотехники. Они будут работать в весьма жестких климатических и механических условиях. Большое влияние на жесткость эксплуатации оказывают специфические нагрузки – газоплазменные среды. Поэтому проектирование столь высокотехнологичных изделий само по себе является нетривиальной задачей.

Технический облик изделий формировался непрерывно и взаимосвязанно в процессе эскизной разработки конструктива модулей методом 3D моделирования в программе SolidWorks–2020. Проектирование велось по принципу 3D модель – 2D чертеж. Изначально строились 3D модели узлов и сборок, чертежи оформлялись по необходимости.

Принцип проектирования начиная сразу с 3D моделирования позволил оптимально скомпоновать взаимосвязанные унифицированные узлы и места их установки в конкретных модулях.

Важным фактором повышения надежности работы высокочастотного генераторного модуля является обеспечение благоприятного теплового режима. Проектирование и теоретический расчет теплового режима выполнялись в программе 3D моделирования SolidWorks–2020 с дополнительным пакетом термодинамического симули-

рования SolidWorks Flow Simulation. На рис. 3 приведена тепловая картина теплоотвода одного из создаваемых высокочастотных генераторных модулей.

Основными направлениями поиска конструкторско-технологических решений являлись:

- проектирование теплоотводов модулей, проведение тепловых расчетов,

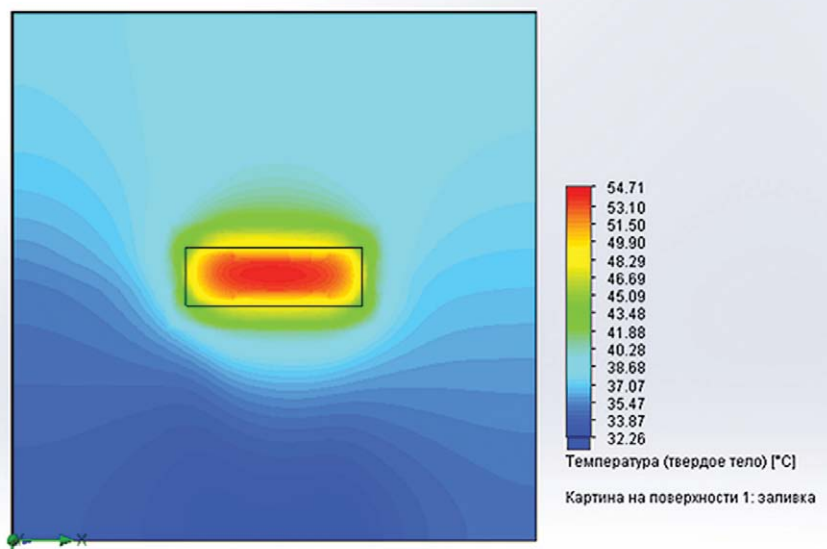


Рис. 3. Тепловая картина теплоотвода одного из создаваемых высокочастотных генераторных модулей

- выбор финального варианта;
- повышение эффективности охлаждения за счет применения дополнительных элементов, не влияющих (мало влияющих) на массогабаритные показатели, сложность и стоимость модуля;
- поиск эффективной компоновки модулей в целом и составляющих их печатных плат.

Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что цель проекта – разработка и подготовка к серийному производству современных, конкурентоспособных на мировом рынке, высокочастотных генераторных модулей высокой мощности – 0,5–2 кВт в диапазоне частот от 0,5 до 350 МГц (в дальнейшей перспективе до 1 ГГц) с широким спектром применения – будет успешно достигнута, а отечественная радиоэлектронная промышленность станет на шаг ближе к достижению полного импортозамещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эскизный проект. Пояснительная записка ПЛТВ.435231.001–01 ПЗЗ. Этап 1. Технический облик изделия. – Воронеж: ООО «МРТ», 2022. – 40 с.
2. Дулов И. В. Исследование и разработка тракта усиления мощности передатчика цифрового радиовещания диапазона ОВЧ. – Дисс. ... канд. техн. наук., 5.12.2004 Радиотехника, в том числе устройства телевидения. – М., 2013.
3. Нис Юрген. Новое поколение передатчиков от Rohde & Schwarz//Broadcasting. – 2011. – № 7. – С. 8–9.
4. AN10896: Mounting and soldering of RF transistors//ELECTRONICS, NXP. – 2012. – Rev. 2 (November).
5. AN1907: Solder Reflow Attach Method for High Power RF Devices in Over-Molded Plastic Packages//NXP. – Rev. 3. – 2015 (May). ■

В соответствии с федеральным проектом «Автономное судовождение» в рамках государственной программы «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» по госконтракту с Минпромторгом РФ в ходе ОКР «Маяк-ВР-НТ» компанией Sitronics КТ (входит в Sitronics Group) создан и 3–4 августа 2023 г. прошел государственные испытания (с присвоением литеры серийного образца) тренажер по а-Навигации и е-Навигации на основе технологий виртуальной реальности. Проект является логическим продолжением дорожной карты Маринет НТИ «Платформа моделирования безэкипажного судовождения» (ПМБС), реализованной с помощью рационального использования бюджетных средств различных госпрограмм поддержки развития экономики страны. Для обеспечения образовательного суверенитета РФ создаются виртуальные средства подготовки специалистов для морского и речного флота, способных эксплуатировать суда новых типов в международных морских водах.

Тренажер по а-Навигации и е-Навигации на основе технологий виртуальной реальности (ВР-НТ) предназначен для отработки практических навыков управления и маневрирования судов различных типов при разных погодных и навигационных условиях плавания с учетом требований Международной конвенции ПДНВ 78/95 (ч. I/12 (А-I/12 и В-I/12)). Он позволяет подготавливать к сертификации судоводителей, экипажи судов с ручным и автономным управлением, операторов системы управления судов (СУДС), персонал центра дистанционного управления автономных судов (ЦДУ МАНС) в соответствии с требованиями Международной конвенции ПДНВ 78/95 ч. А-II/1, А-II/2, А-II/3, Модельного курса МАМС V-103/1, Положения по классификации МАНС НД № 2-030101-037, а также с учетом модельных курсов ИМО 1.07; 1.08; 1.22; 1.27; 1.32; 1.34; 7.01; 7.03. В соответствии с одобренными в Российской Федерации программами подготовки операторов ЦДУ и морских автономных надводных судов (МАНС) тренажер включает минимальный набор оборудования (рис. 1).

Согласно положениям Российского морского регистра судостроения (РМРС) [1] можно выделить две основные

НАВИГАЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ АВТОНОМНОГО СУДОВОЖДЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ И ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Д.В. Казунин, д-р техн. наук, доцент, директор по разработке, В.В. Рыбий, зам. руководителя проекта, ООО «Стеор-НСБ», контакт. тел. +7 (911) 114 4834, +7 (921) 747 5076

УЗКОСТЬ →					
M O P E ↓	M		MC	Ручное управление	человек на борту
	MC _{DS}		MC _{DS}	Ручное управление с поддержкой принятия решения	человек на борту
	RC _{MC}		RC _{MC}	Дистанционное управление с возможностью перехода на ручное	человек на борту
	RC		RC	Дистанционное управление	нет человека на борту
	A		AC	Автономное управление	нет человека на борту
	MC	MC _{DS}	RC _{MC}	RC	AC

Рис. 2. Правила классификации МАНС РМРС в зависимости от наличия человека на борту судна

категории МАНС: полностью автономные суда (RC, AC) без человека на борту и полуавтономные (MC, MC_{DS}, RC_{MC}) суда с человеком на борту, для которых и предстоит готовить персонал (рис. 2).

Для этого в 2022 г. Морской администрацией страны одобрены типовые программы подготовки специалистов, управляющих полуавтономными судами, которые согласно мировой практике должны научиться взаимодействовать с пятью основными модулями автономного судовождения:

- управление собственным судном со средствами распознавания целевой обстановки, трансляции собственного положения, принятия решений по МППСС, управления упорами и средствами торможения;
- взаимодействие судна-цели и судна, имеющего силовые связи с собственным буксиром, кантовщиком, с установ-



Рис. 1. Состав навигационного тренажера для подготовки специалистов автономного судовождения
1, 2 – навигационный мостик для двух вариантов подготовки; 3 – МАНС для различных классов, определенных РМРС; 4 – ЦДУ/СУДС для двух вариантов подготовки; 5 – моделирующая среда; 6 – место инструктора; 7 – устройства виртуальной и дополненной реальности для проведения обучения; 8 – интерфейсы для подключения реального судового или учебного оборудования, разработанного в ходе выполнения учебных работ по конструированию оборудования МАНС

- ленным на них стандартизированным набором оборудования, обеспечивающим взаимодействие с центрами управления и информационное взаимодействие между судами;
- взаимодействие (в том числе управление) с дистанционными центрами обеспечения кибербезопасности;
 - взаимодействие или управление навигационной разграничительной разметкой (для обучаемых ЦДУ МАНС) и средствами наведения на место швартовки, докования, на цель, фарватер и т.д.;
 - управление средствами связи и доставки информации с учетом кибербезопасности.

Для решения перечисленных задач подготовка тренажер включает в себя рабочие места обучаемых трех видов:

- VR-имитаторы ходовых мостиков собственных судов, включая МАНС в режиме ручного (рис. 3, а), дистанционного и автономного управления,
- имитатор (VR/AR/Real) ЦДУ МАНС (рис. 3, б),
- имитатор (VR/AR/Real) СУДС.

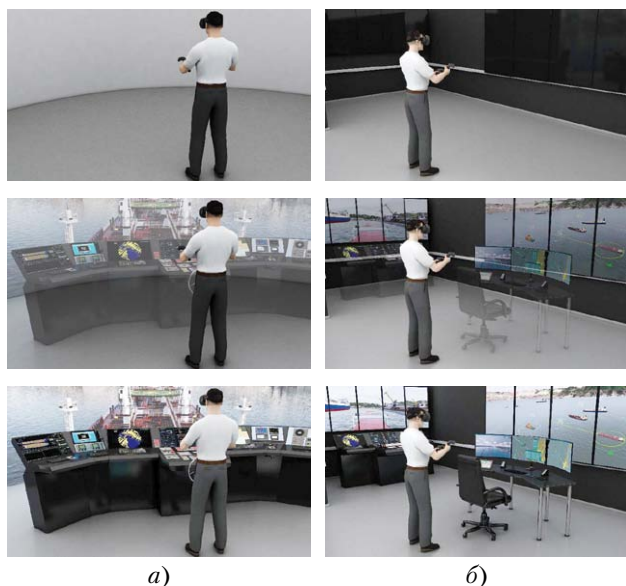


Рис. 3. VR-имитаторы навигационного тренажера

Тренажер позволяет моделировать функции реальных приборов, причем панели управления имитаторов приближены к реальным панелям управления навигационных и береговых приборов и имеет модульную структуру, которая обеспечивает возможность расширения количества рабочих мест слушателей и функциональных возможностей.

Тренажер прошел государственные испытания по утвержденной программе и методике, согласованной с ведущими вузами страны и одобренной РМРС, и получил свидетельство одобрения РМРС (<https://rs-class.org/services/simulators/>, вкладка «Свидетельства ФАМРТ»), позволяющее использовать тренажер в учебном процессе отраслевых вузов Минтранса России: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова, МГУ им. адм. Г.И. Невельского, ФГБОУ ВО «СГУВТ», ФГБОУ ВО «ВГУВТ».

Тренажер построен:

- на основе технологии компьютерного моделирования (ТКТ) плотного судопотока МАНС и конвенционных судов в сочетании со средствами навигационного обеспечения и береговой инфраструктурой, а также технологией виртуальной реальности имитационного управления и отображения (ТИУ) оборудования ходового мостика, обеспечивающей у обучаемого необходимое тактильное и визуальное восприятие окружающей и навигационной обстановки в условиях реального времени. (данная технология основана на открытой технологической платформе для разработки технологий безэкипажного судовождения (ПМБС)),



Рис. 4. Функции VR/AR/Real ходового мостика: Real – правый верхний угол: вид стандартного ходового мостика тренажера, VR – слева: реализованная в VR-шлеме виртуальная реальность, AR – в правом нижнем углу: в верхней полусфере представлена сгенерированная дополненная реальность, а в нижней части – вид реальных консолей, получаемый с помощью стандартных видеокамер, которые в AR-шлеме объединяются в единый видеокадр изображения (как представлено на рисунке)

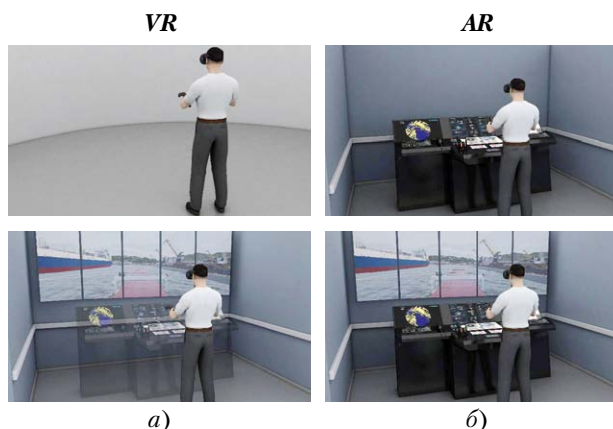


Рис. 5. Демонстрация работы VR (а) и AR для малого мостика (б), где в верхней части вместо голубых экранов в шлеме воспроизводится 3D-визуализация мостика, в нижней части с помощью видеокамер видны консоли, управляемые руками обучаемого











- с использованием интегрированного программного обеспечения:

- 1) тренажера глобальной морской связи при бедствии и для обеспечения безопасности GMDSS Trainer-1.4 MCS,
- 2) модуля расчета посадки и остойчивости судна Loading Control System, осуществляющего расчет посадки, остойчивости и прочности корпуса судна и позволяющего моделировать в тренажере управление собственными судами с любым вариантом загрузки, в том числе в аварийных состояниях,
- 3) программно-аппаратного комплекса сбора, обработки, отображения и регистрации информации Системы управления движением судов ПАК СООРИ,
- 4) программно-аппаратного комплекса системы безопасного расхождения судов ПАК СБРС;

- с использованием интегрированных в тренажер серийно-выпускаемой бортовых систем ЭКНИС и РЛД,
- на базе аппаратных средств, работающих под управлением инструкторской станции: стандартные персональные компьютеры, объединенные в локальную компьютерную сеть,
- с использованием технологий виртуальной и дополненной реальности, обеспечивающих высокую реалистичность обучения.

Тренажер обеспечивает обработку 49 судов-целей в рамках одного упражнения и для обеспечения реалистичности обучения использует математические модели собственных судов и судов-целей с шестью степенями свободы. Математические модели судов отвечают характеристикам судов-прототипов,

Базовый набор моделей судов

Судно- прототип	3D образ	3D образ	Судно- прототип
Балкер «Виктор Цой» (типа Ultramax), ВФШ, 225,0 × 32,0 × 13,3			Контейнеровоз (типа Handymax), ВФШ, 180,0 × 28,0 × 8,0
Судно «река-море» «Пола-Макария» (пр. RSD59), ВРК, 140,0 × 16,6 × 3,5			Типовой сухогруз с указанными габари- тами, ВФШ, 160,0 × 22,9 × 9,9
Крановое судно «Станислав Юдин» (пр. Р-2096), ВРК, 183,0 × 36,4 × 8,9			Судно типа ро-ро, «Петропавловск» (пр. CNF-22), ВРШ, 120,0 × 17,5 × 4,5
Рыболовное судно- краболов «Аян» (пр. 03141), ВФШ, 64,0 × 13,0 × 5,0			Пассажирское судно, крупный лайнер «Tomson Density», ВРШ, 221,6 × 28,0 × 7,7
Буксир (ледового класса) «Рюрик» (пр. 21110), ВРК, 36,7 × 12,8 × 4,6			Водное такси Valo, ВРШ, 27,0 × 8,0 × 1,0

включая водоизмещение, тип и мощность двигателя, тип и направление вращения винта/винтов, тип рулевого устройства, тип и мощность подруливающего устройства/устройств, тип и вес якоря/якорей, инерционно-тормозные характеристики и маневренные качества с учетом воздействия на судно ветра, волнения, мелководья и других факторов. Временные задержки при реверсировании главного двигателя соответствуют реальному поведению двигателя в зависимости от его типа. Модели судов тренажера разработаны в соавторстве с ФГУП «Крыловский государственный научный центр» («КГНЦ»). Тренажер включает в себя базовый набор моделей судов, которые, по мнению экспертов Минтранса, должны покрывать основные типы МАНС (см. таблицу) и которые будут развиваться в РФ ближайшем будущем

В составе тренажера представлены районы: участок открытого Балтийского моря, Санкт-Петербург (Большой порт), Санкт-Петербург (Бронка), Высоцк, Приморск, Калининград, Балтийск, Рига, Таллин, Ново-Таллинский порт (Muuga), Севастополь, Феодосия, Мариуполь, Суэцкий канал, Панамский

канал, для которых моделируются навигационная обстановка и знаки навигационного разграничения реальных районов плавания (рис. 6–8). С этой целью они содержат: набор векторных электронных карт; трехмерную визуальную модель с отражающими поверхностями для формирования радиолокационной обстановки; средства навигационного разграничения и береговые радиотехнические средства; расчетные модули магнитного склонения; приливных течений и уровней приливных вод; сезонных поверхностных течений.

При создании базы данных приливов был использован расчетный модуль, созданный на базе технологий ПМБС, который был разработан в соавторстве с сотрудниками СПбПУ и верифицирован на основе данных программного обеспечения Admiralty Total Tide, ранее используемой в навигационных тренажерах предыдущего поколения, но недоступной в текущих условиях. Выполненная верификация показала высокую достоверность полученных расчетов (рис. 9 и рис. 10).

Для имитации работы с РЛС в навигационном тренажере реализована среда моделирования, которая генерирует радар-



Рис. 6. Район Балтийска, вид сверху

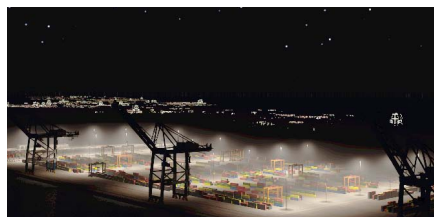


Рис. 7. Район Санкт-Петербург (Бронка), ночь



Рис. 8. Вид порта и портовых сооружений

ное видео на основе 3D-модели района и судов, поверхности которых покрыты отражающими текстурами. Радарное видео передается в различные серийно выпускаемые одобренные РМРС РЛД по стандартным или проприетарным протоколам. Тренажер позволяет имитировать видеосигналы судовой РЛС в S и X диапазонах, создавая следующие эффекты:

основные:

- эхо-сигнал от других судов, от берега и объектов на берегу, от средств навигационного ограждения (буи, маяки), сигналы РЛО, низко летящих вертолетов и самолетов;
- эхо-сигнал от надстроек и от мачт собственного судна;
- эхо-сигнал от дождевого облака (помехи от дождя) и от поверхности моря (помехи от моря);

набор более сложных эффектов, которые ранее имитировались в импортных тренажерах, не имитацией в произвольном месте сцены данного эффекта, а включением одиночных специализированных эффект-генерирующих объектов:

- эхо-сигналы боковых лепестков,
- множественно отраженные сигналы,
- помехи от других радаров,

Созданная модель позволяет имитировать в произвольных навигационных ситуациях следующие эффекты:

- ослабление сигнала с увеличением расстояния при прохождении дождевого облака,
- покрытие судна тенью от другого судна или берега, покрытие берегового объекта тенью от другого берегового объекта,
- покрытие тенью от судовых надстроек (теневые сектора),
- изменение минимальной дальности обнаружения при отсутствии помех в зависимости от высоты антенны и модели собственного судна,
- влияние кривизны земной поверхности на дальность обнаружения.

Сравнение имитируемого изображения РЛС для судопропускного сооружения С-1 порта Санкт-Петербург показало, что полученные радарные изображения, по отзывам экспертов, обладают достаточной схожестью (рис. 14). Незначительная разница возникает ввиду различия моделей судов и РЛС и их настроек.

Для реализации функций обучения МАНС в тренажере предусмотрено четыре решения:

Решение 1: организация ЦДУ МАНС (рис. 15) на базе тактического дисплея, эквивалентного СУДС (с ССТV-обзором, работой с БД судов, проекционно-тактическим планшетом) с функциями управления МАНС, находящимися в области ответственности

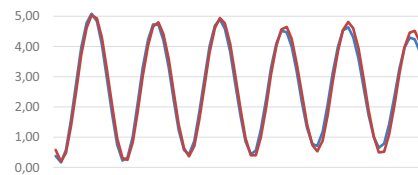
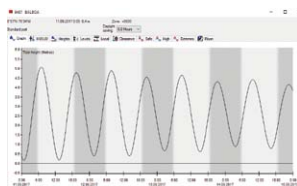


Рис. 9. Результаты сравнения предсказания уровня прилива и Admiralty Total Tide в тренажере ВР-НТ для Панамского канала, 11–13 сентября 2017 г.

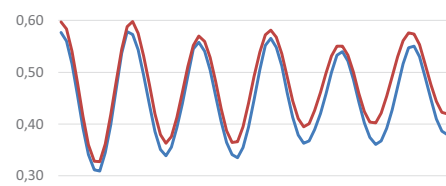
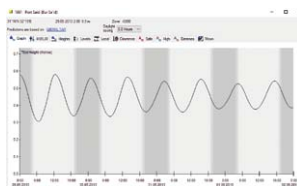


Рис. 10. Результаты сравнения предсказания уровня прилива в Admiralty Total Tide и тренажере ВР-НТ для Суэцкого канала (порт Сауд), 29–31 мая 2013 г.

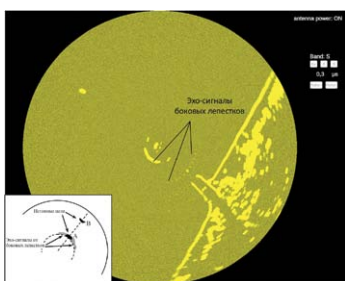


Рис. 11. Ложные отметки боковых лепестков

Эффект возникает для близко расположенных целей. Ложные отметки от боковых лепестков (рис. 11) ДНА обладают следующими признаками:

- симметрично распределены с обеих сторон от истинной отметки цели;
- имеют ту же дальность, что и истинная отметка, и пеленг вблизи истинного направления на цель;
- сливаются с истинной отметкой, имея существенно меньшую интенсивность, что иногда затрудняет оценку размеров истинной цели.

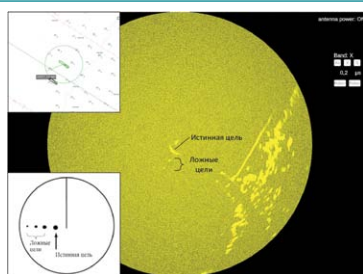


Рис. 12. Ложные многократные эхо-сигналы

Эффект возникает при многократном переотражении радиоволны между судном-целью и наблюдающим судном, причем часть энергии поступает в антенну при каждом переотражении (рис. 12). Это явление часто происходит, когда два судна движутся параллельно на относительно близком расстоянии.

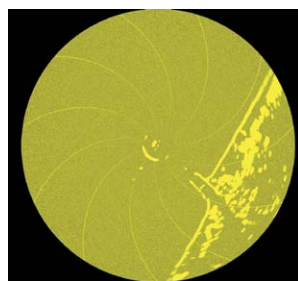
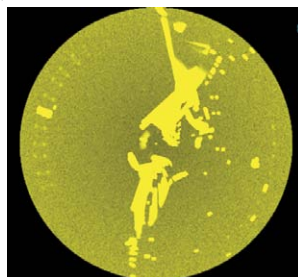


Рис. 13. Взаимные помехи РЛС

Помехи, возникающие при приеме радаром зондирующих сигналов от других радаров той же или аналогичной частоты, называются *взаимными помехами* (рис. 13). По происхождению они являются активными помехами в отличие от принимаемых эхо-сигналов от моря и гидрометеоров, являющихся пассивными помехами.

а)



б)



Рис. 14. Прием генерации радиолокационного видео в тренажере и реального радарного изображения на борту судна в той же точке: а – изображение, имитируемое в тренажере, б – изображение реального судового радара



Рис. 15. Пример организации ЦДУ (на базе модернизированного СУДС и ПДУ)

ЦДУ, путем их перепрограммирования или ручного управления с помощью поста дистанционного управления (ПДУ).

Решение 2: использование системы безопасного расхождения судов (СБРС), которая применяется в качестве системы поддержки принятия решений для ручного (МС, МС_{DS} класса) или автоматического (RC_{MC}, RC, AC класса) управления движением МАНС, передавая команды в систему управления движением судна (рис. 16).



Рис. 16. Использование системы безопасного расхождения судов (СБРС)

СБРС обеспечивает движение в соответствии с правилами МППСС–72 и работает на основе графовых алгоритмов направленного поиска (по критериям, составленным на основе правил МППСС–72 и хорошей морской практики в областях, не охваченных МППСС) с прогнозированием маршрутов окружающих судов, с учетом возможностей собственного судна и его посадки. Кроме того, обеспечивает безопасное расхождение с 50 целями, находящимися на сопровождении АИС и Системы автоматической радиолокационной прокладки (САРП) РЛС.

СБРС интегрирована в тренажер и была верифицирована специалистами ФГУП «КГНЦ» в ходе выполнения работ по экспертной оценке имитатора автономного управления (отчет о НИР № 29732 «Экспертный анализ разработанного имитатора автономного управления в части корректности взаимодействия макета оборудования автономного управления и математической модели судна»). По отзыву ФГУП «КГНЦ», данная СБРС обеспечивает «корректную оценку навигационной ситуации и успешное решение задачи безопасного расхождения с множеством судов в широком спектре ситуаций опасного сближения».

Управление параметрами посадки судна и контролируемых МАНС (в аварийных ситуациях) в тренажере осуществляется с помощью программы LCS (Loading Control System). Она предназначена для расчета и контроля в процессе экс-

плуатации нагрузки корпуса судна, параметров посадки и устойчивости неповрежденного судна. Программа LCS обладает всеми обычными функциями бортовой грузовой программы, используемой старшим помощником капитана для оценки параметров посадки и устойчивости, сравнении их с допусками; расчета в процессе эксплуатации нагрузки судна по введенным запасам, жидким грузам и балласту; автоматизации контроля загрузки, общей и местной прочности судна; оценки допустимости нагрузок на корпус для условий порта и выхода в море. Интерфейс бортовой программы LCS для использования в тренажерных решениях имеет дополнительную функцию упрощенного редактирования параметров загрузки судна с помощью настроечных ползунков.

Решение 3: использование инфографики (входит опционно), которая реализует расширенные принципы e-Навигации (рис. 17).

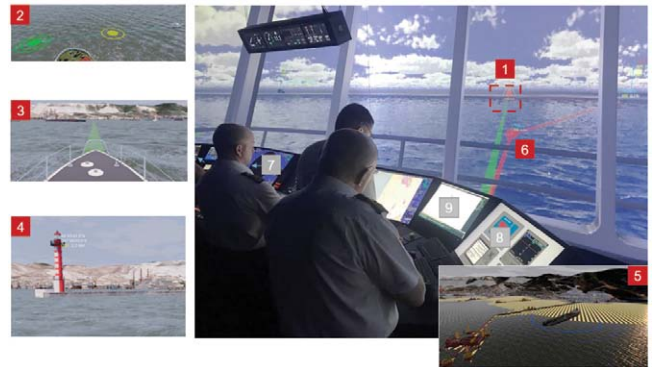


Рис. 17. Инфографика позволяет иллюстрировать основные элементы движения собственного судна, судов-целей и объектов навигационных разграничений, включая рекомендованный СБРС маршрут, а также дополнительную информацию по состоянию корпуса МАНС или рекомендации СППР

Решение 4: использование нормативно-учебных материалов по управлению МАНС различного типа и процедурам перехода из зоны управления СУДС в зону ответственности ЦДУ, передаче управления с судна в ЦДУ и из ЦДУ на судно, передаче маршрутов МАНС, а также решение задач по управлению аварийным МАНС в зоне ответственности ЦДУ и создание аварийных ситуаций.

ВЫВОДЫ

В статье представлены основные учебные возможности разработанного тренажера ВР-НТ, которые могут использоваться в учебных процессах при подготовке операторов ЦДУ и экипажей полуавтономных МАНС.

В ближайшее время в соответствии с протоколом совещания у заместителя Министра транспорта Российской Федерации 17 марта 2023 г. N25-АП и п.3.8-3.9. Дорожной карты инициативы «Автономное судовождение» опытный образец тренажера (созданного в рамках ОКР «ВР-НТ» и в соответствии со схемой деления, составом и функциональностью его основных компонентов) будет введен в эксплуатацию в Российском университете транспорта (МИИТ), а серийный образец в ноябре планируется установить в ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова для проведения подготовки специалистов в области а-Навигации и е-Навигации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила РМРС. Положения по классификации морских автономных и дистанционно управляемых судов (МАНС), НД № 2-030101-037. ■

Основным достоинством корабельных пассивных РЛС (ПРЛС) является их скрытность, недостатком – большие по сравнению с активными средствами ошибки определения дальности до источника радиоизлучения (ИР), а при использовании ПРЛС одиночного корабля – большее время определения дальности и параметров движения ИР. Для повышения точности и оперативности определения координат ИР используются триангуляционный, разностно-дальномерный и разностно-дальномерно-пеленгационный методы, реализация которых предполагает, что разнесенные точки приема соединены между собой каналами связи.

Наиболее распространенным является триангуляционный (пеленгационный, угломерный) метод определения координат ИР, который основан на измерении линий положения (изолиний равных пеленгов) из нескольких разнесенных в пространстве позиций. Соответственно, широкое применение находят корабельные пассивные угломерные системы (КПУС), образованные ПРЛС надводных кораблей (НК) группы.

Если в зоне действия КПУС находятся несколько ИР и их нумерация в отдельных ПРЛС не совпадает, то существует неопределенность при объединении информации, выражающаяся в том, что априори неизвестно, какие пеленги относятся к одному и тому же ИР. В этом случае необходимо принимать решения о том, какие из точек пересечения пеленгов (ТПП) являются истинными (т. е. относящимися к одному и тому же ИР), а какие – ложными. Иначе говоря, следует решить задачу отождествления пеленгов ИР. Качество отождествления пеленгов существенно влияет на выполнение требований к точностным характеристикам КПУС.

Для реализации известных способов отождествления координатной информации ИР необходимы избыточные позиции (когда число позиций превышает число, минимально необходимое для получения всех координат ИР в заданной системе). Примером могут служить алгоритмы отождествления разностей дальностей в разностно-дальномерной системе, основанные на том, что сумма разностей, соответствующих одному ИР и полученных на базах, образующих треугольник, равна нулю (способ «замыкания»).

Другой пример – способ отождествления пеленгов ИР, основанный на анализе пересечений линий визирования [1]: пеленги приемных позиций угломерной системы относятся к одному и тому же ИР, если линии положения, построенные по значениям измеренных пеленгов, имеют одну общую точку или малую окрестность (с учетом ошибок измерения) пересечения.

В работе [2] на базе инвариантов кинематических моделей, которыми описывается пространственное движение целей, развит инвариантно-групповой метод отождествления пеленгов ИР. Данный метод обеспечивает децентрализацию обработки угломерных данных и, как следствие, существенное сокращение вычислительных затрат.

Наряду со скрытностью ПРЛС обладают еще одним достоинством – возможностью распознавать типы ИР по радиотехническим (РТ) параметрам принятого излучения, что позволяет при отождествлении пеленгов ИР дополнительно к координатным использовать и некоординатные (сигнальные) информативные параметры.

В настоящей статье решающие правила отождествления пеленгов ИР разрабатываются на основе результатов распознавания типов ИР, и в качестве дополнительных информативных параметров отождествления предлагается использовать вектор, компонентами которого являются апостериорные ве-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ МОРСКИХ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИИ ИХ ПЕЛЕНГОВ

О.Г. Мальцев, д-р техн. наук,
начальник НИЛ АО «Концерн «Гранит-Электрон»,
контакт. тел. (812) 271 4585, 271 6774

роятности принадлежности ИР к возможным типам, и массив номеров соответствующих типов ИР.

ИСХОДНЫЕ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ПЕЛЕНГОВ ИР

При решении в КПУС задачи отождествления пеленгов ИР необходимо учитывать следующие основные особенности:

- неодновременность проведения замеров пеленгов ИР отдельными ПРЛС;
- невозможность использования непосредственно замеров пеленгов как информативных параметров отождествления, поскольку истинные значения пеленгов ИР при его наблюдении из пространственно разнесенных позиций в общем случае будут различными.

Для обеспечения отождествления пеленгов ИР в КПУС необходимо:

- привести замеры пеленгов всех ИР, полученные всеми ПРЛС, к общему моменту времени $t_{\text{синх}}$, т. е. провести синхронизацию замеров;
- решить на основе измеренных РТ параметров принятых излучений задачу распознавания типов ИР для последующего использования результатов ее решения в качестве дополнительных информативных параметров отождествления пеленгов ИР.

Приведем основные соотношения, используемые при решении этих задач.

Синхронизация замеров пеленгов ИР. Рассмотрим способ решения задачи синхронизации, который может быть реализован в следующих предположениях:

- замер пеленга ИР представляется суммой его истинного значения и случайной ошибки;
- случайная ошибка имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ_{ψ}^2 ;
- величина интервала между соседними замерами каждой ПРЛС обеспечивает независимость замеров друг от друга.

В таких предположениях и при аппроксимации зависимости величины пеленга от времени полиномом первого порядка оценка пеленга ИР, привязанная к моменту времени $t_{\text{синх}}$, может быть получена в соответствии с выражением [3]

$$\hat{\psi}(t_{\text{синх}}) = \hat{a} + \hat{b}t_{\text{синх}}, \quad (1)$$

$$\hat{a} = \psi_{\text{cp}} - \hat{b}t_{\text{cp}}; \quad \hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^m [(t_i - t_{\text{cp}})\psi_i]}{\sum_{i=1}^m (t_i^2 - t_{\text{cp}}^2)}$$

$$\psi_{\text{cp}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \psi_i; \quad t_{\text{cp}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i$$

Таким образом, для приведения оценки пеленга ИР к общему моменту времени $t_{\text{синх}}$ необходимо по выборке из m единичных замеров $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_m$ пеленга, полученных последовательно в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_m , сформировать по формуле (1) оценку $\hat{\psi}(t_{\text{синх}})$.

Диагональный элемент корреляционной матрицы ошибок, характеризующий дисперсию ошибки синхронной оценки, имеет следующий вид:

$$k(t_{\text{синх.}}, t_{\text{синх.}}) = \sigma_{\psi}^2 \left[\frac{1}{m} + \frac{1}{Q} (t_{\text{синх.}} - t_{\text{ср.}})^2 \right], \quad (2)$$

где $Q = \sum_{i=1}^m (t_i^2 - t_{\text{ср.}}^2)$; σ_{ψ}^2 – дисперсия ошибки единичного замера пеленга; t_i – момент проведения i -го замера пеленга.

Из выражения (2) следует, что дисперсия синхронной оценки при совпадении момента синхронизации $t_{\text{синх.}}$ с серединой временного интервала выборки $t_{\text{ср.}}$ обратно пропорциональна размеру выборки m , а при невыполнении этого условия – дополнительно квадратично зависит от рассогласования момента синхронизации и середины временного интервала выборки.

Распознавание типов ИР. Задача распознавания типов ИР ставится и решается следующим образом: имеется хранящаяся в каталоге априорная информация вида $\{w(\mathbf{y} | N), S^{(N)}\}$ о типах ИР, где $w(\mathbf{y} | N)$, $N = 1, 2, \dots, N_{\text{max}}$ – v -мерная плотность вероятности вектора \mathbf{y} для N -го типа ИР; $S^{(N)}$ – количество экземпляров ИР N -го типа.

Компоненты вектора \mathbf{y} (РТ параметры ИР) будем считать независимыми случайными величинами. Тогда

$$w(\mathbf{y} | N) = w(y^{(1)}, y^{(2)}, \dots, y^{(v)} | N) = \prod_{r=1}^v w(y^{(r)} | N),$$

где $w(y^{(r)} | N)$ – одномерная плотность вероятности r -го компонента вектора \mathbf{y} и N -го типа ИР.

Апостериорная вероятность отнесения принятого излучения к ИР N -го типа при условии получения вектора \mathbf{y} рассчитывается по формуле Байеса

$$P(N | \mathbf{y}) = \frac{w(\mathbf{y} | N) P_N}{\sum_{N=1}^{N_{\text{max}}} w(\mathbf{y} | N) P_N}. \quad (3)$$

Входящие в выражение (3) априорные вероятности P_N приема излучения от ИР N -го типа определяются как

$$P_N = S^{(N)} / \sum_{N=1}^{N_{\text{max}}} S^{(N)},$$

а вероятностные модели $w(\mathbf{y} | N)$ (функции правдоподобия условных номеров N типов ИР) задаются соотношениями, приведенными в работе [4].

Расчеты по формуле (3) позволяют сформировать вектор апостериорных вероятностей

$$\mathbf{P}_\tau = \{P(N_k | \mathbf{y}), k = 1, 2, \dots, n_\tau; N_k \in \{1, 2, \dots, N_{\text{max}}\} \wedge P(N_k | \mathbf{y}) > \eta\}$$

и соответствующий массив номеров типов ИР $\mathbf{M}_\tau = \{N_k, k = 1, 2, \dots, n_\tau\}$, которые в качестве информативных параметров будут использованы при разработке решающих правил отождествления пеленгов ИР. Порог η обеспечивает исключение из дальнейшей обработки маловероятных типов ИР.

Будет учитываться также априорная информация о возможном местоположении групповой цели и ее размере (радиусе кругового ордера). За центр ордера примем точку пересечения биссектрис секторов излучения (оценок угловой протяженности групповой цели), зафиксированных ПРЛС двух надводных кораблей (НК), а за радиус ордера – радиус окружности, вписанной в наибольший из этих секторов.

Постановка задачи отождествления пеленгов ИР. Данную задачу можно сформулировать следующим образом: в каждой из n ПРЛС обнаружены s ИР (число s может быть неизвестным) и получены сглаженные к одному и тому же моменту времени $t_{\text{синх.}}$ измерения их пеленгов

$$\psi_j^{(i)}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, s, \quad (4)$$

где s_i – число ИР, обнаруженных i -й ПРЛС.

Требуется сгруппировать замеры пеленгов по принадлежности к каждому из ИР, т. е. сформировать \hat{s} -оценку s групп замеров пеленгов непересекающегося состава:

$$\left. \begin{aligned} \{\psi_j^{(i_p)}\} &= (\psi_j^{(i_1)}, \psi_j^{(i_2)}, \dots, \psi_j^{(i_{n_j})}), \\ i_p &\in \{1, 2, \dots, n\}, n_j \leq n, j = 1, 2, \dots, s, p = 1, 2, \dots, n_j, i_1 \neq i_2 \neq \dots \neq i_{n_j}, \\ \psi_j^{(i_p)} &\neq \psi_j^{(m_q)} \text{ при } i_p \neq m_q \vee j \neq l, m_q \in \{1, 2, \dots, n\}, \\ & l = 1, 2, \dots, s, q = 1, 2, \dots, n_j, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

и отбросить оставшиеся вне групп замеры пеленгов как ложные.

Если условия обнаружения и разрешения во всех ПРЛС КПУС достаточно близки к идеальным, то (4) переходит в $\psi_j^{(i)}$, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, s$, а (5) – в $\{\psi_j^{(i)}\} = (\psi_j^{(1)}, \psi_j^{(2)}, \dots, \psi_j^{(n)})$, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, s, \psi_j^{(i)} \neq \psi_j^{(m)}$ при $i \neq m \vee j \neq l$.

Таким образом, задача отождествления пеленгов ИР в КПУС приводит к проверке многоальтернативных гипотез относительно возможных вариантов отождествления (ВО) – разбиения совокупности замеров пеленгов на группы, наилучшим образом отвечающие заданному критерию качества.

ОПТИМАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ПЕЛЕНГОВ ИР

Среди методов статистической оптимизации наибольшее распространение получил метод максимума апостериорной вероятности, сводящийся, как правило, к методу максимума правдоподобия. Ищется наиболее вероятная гипотеза при использовании всех данных измерений.

Определим гипотезу ВО пеленгов $\Psi = \{\psi^{(i)}, i = 1, 2, \dots, n\}$, где $\psi^{(i)}$ – группа пеленгов ИР от i -й ПРЛС как совокупность $\mathbf{H}_m = (\mathbf{H}_m^{(1)}, \mathbf{H}_m^{(2)}, \dots, \mathbf{H}_m^{(n)})$ целочисленных векторов $\mathbf{H}_m^{(i)}$ размерностью s_i . При этом для $k = 1, 2, \dots, s_i$:

- $\mathbf{H}_m^{(i)}(k) = j$, если k -й пеленг порожден j -м ИР;
- $\mathbf{H}_m^{(i)}(k) = 0$, если k -й пеленг считается ложным.

Пусть $\mathbf{H} = \{\mathbf{H}_m\}$ – множество всех возможных гипотез, $m = 1, \text{card}(\mathbf{H})$. Решение задачи отождествления, оптимальное по критерию максимума апостериорной вероятности, заключается в отыскании гипотезы $\mathbf{H}_{\text{opt}} \in \arg \max_{\mathbf{H}_m \in \mathbf{H}} w(\Psi, \mathbf{H}_m)$, где $w(\Psi, \mathbf{H}_m)$ – совместная плотность вероятности пеленгов и гипотезы отождествления.

Таким образом, синтез решающего правила оптимального алгоритма отождествления пеленгов ИР формально сводится к определению выражения для функционала $w(\Psi, \mathbf{H}_m)$ и выбору ВО с максимальным значением этого функционала.

Обычно априорные вероятности различных гипотез целесообразно считать одинаковыми. Тогда оптимально максимильно правдоподобная гипотеза $\mathbf{H}_{\text{opt}} \in \arg \max_{\mathbf{H}_m \in \mathbf{H}} w(\Psi | \mathbf{H}_m)$.

Выберем из каждой группы $\psi^{(1)}, \psi^{(2)}, \dots, \psi^{(n)}$ по одному элементу $\psi_{q_j}^{(1)}, \psi_{l_j}^{(2)}, \dots, \psi_{m_j}^{(n)}$ и отнесем их к j -му ИР. Правомочность такой классификации можно характеризовать функцией правдоподобия выделенных элементов (обозначая с целью упрощения $\psi_{q_j}^{(i)} = \psi_j^{(i)}$):

$$L_j(\psi_j^{(i)}, i = 1, 2, \dots, n | x_j, z_j) = \text{const} \cdot \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_d^2} \left[(x_j^{(i)} - x_j)^2 + (z_j^{(i)} - z_j)^2 \right] \right\},$$

где $x_j^{(i)}, z_j^{(i)}$ – декартовы координаты основания перпендикуляра, опущенного из точки местоположения j -го ИР на линию пеленга $\psi_j^{(i)}$; σ_d^2 – дисперсия ошибки определения кратчайшего расстояния (длины перпендикуляра) от указанной точки до линии пеленга $\psi_j^{(i)}$.

Заменим неизвестные координаты (x_j, z_j) их оценками (\hat{x}_j, \hat{z}_j) , найденными в соответствии с критерием максимальной правдоподобия. В связи с нелинейностью задачи решение уравнения правдоподобия ищется методом последовательных приближений.

Принимая во внимание только линейные члены разложения, для случая гауссовой статистики измерений решением уравнения правдоподобия на l -м шаге уточнения является система линейных уравнений [5]

$$\sum_{q=1}^2 a_{pq}^{(l)} \cdot \Delta \mu_q^{(l)} = b_p^{(l)}, \quad p=1,2, \quad (6)$$

где $\Delta \mu_q^{(l)}$ – q -й компонент разности значения вектора декартовых координат ИР на $(l+1)$ -м шаге уточнения и его оценочным значением на предыдущем, l -м шаге.

Выражения для частных производных, с использованием которых определяются коэффициенты системы (6) линейных уравнений, имеют вид

$$\frac{\partial \varphi_{np}^{(i)}}{\partial x_{np}} = \frac{z_{np} - z_{нкi}}{(r_{np}^{(i)})^2}; \quad \frac{\partial \varphi_{np}^{(i)}}{\partial z_{np}} = -\frac{x_{np} - x_{нкi}}{(r_{np}^{(i)})^2},$$

где $\varphi_{np}^{(i)}$, $r_{np}^{(i)}$ – соответственно азимут и дальность ИР с i -го НК, вычисленные с использованием оценок искомых координат; x_{np} , z_{np} и $x_{нкi}$, $z_{нкi}$ – соответственно декартовы координаты ИР и i -го НК.

Выполняя подобные операции для всех s ИР, получаем критерий оптимального отождествления в виде требования максимума совместной функции правдоподобия выделенных непересекающихся групп пеленгов $\psi_j^{(1)}, \psi_j^{(2)}, \dots, \psi_j^{(n)}$, $j=1,2,\dots,s$:

$$L(\cdot) = \prod_{j=1}^s L_j(\psi_j^{(i)}, i=1,2,\dots,n | \hat{x}_j, \hat{z}_j) = \sup_{\psi_j^{(i)} \in \Psi^{(i)} \forall q,i}$$

или эквивалентного требования минимума показателя

$$I = \sum_{j=1}^s \frac{1}{\sigma_d^2} \sum_{i=1}^n [(x_j^{(i)} - \hat{x}_j)^2 + (z_j^{(i)} - \hat{z}_j)^2] = \inf_{\psi_j^{(i)} \in \Psi^{(i)} \forall q,i} \quad (7)$$

В соответствии с критерием (7) пеленги наблюдаемых групп $\Psi^{(i)}$, $i=1,2,\dots,n$ распределяются среди s непересекающихся групп таким образом, чтобы суммарный нормированный квадрат кратчайших расстояний от линий пеленгов до соответствующих точек местоположения ИР с координатами, вычисленными из решения уравнения правдоподобия, оказался наименьшим.

Заметим, что рассматриваемая задача имеет комбинаторный характер и может быть решена методом полного перебора всех гипотез, число которых [6]

$$\text{card}(\mathbf{H}) = \prod_{i=1}^n \sum_{k=2}^{\min(s,s_i)} \frac{s! s_i!}{k!(s-k)!(s_i-k)!} = \prod_{i=1}^n \sum_{k=2}^{\min(s,s_i)} c_s^k c_{s_i}^k k!$$

экспоненциально возрастает с ростом s , s_i и n («проклятие размерности»).

Если считать, что в процессе отождествления нужно сформировать s групп замеров пеленгов так, чтобы каждая группа содержала по одному замеру от каждой ПРЛС (т. е. всего n замеров в группе), причем каждый замер входил бы только в одну группу (все ИР предполагаются разрешенными), то можно построить $(s!)^{n-1}$ гипотез отождествления, отличающихся составом хотя бы двух групп. Из этих гипотез только одна истинная.

Полным отождествлением s ИР в системе n ПРЛС называем выработку решения об осуществлении единственного из несовместных событий, заключающихся в том или ином разбиении замеров пеленгов на группы, относящиеся к одним и тем же ИР. При полном отождествлении методом перебора возможных вариантов производится выбор наилучшего варианта комбинирования замеров пеленгов в соответствии с выбранным критерием качества. В силу оптимальности методы полного отождествления обеспечивают минимальный уровень ошибок, однако при большом числе наблюдаемых ИР они практически нереализуемы в реальном масштабе времени.

Вследствие высокой вычислительной сложности оптимального алгоритма отождествления пеленгов ИР возникает необходимость в использовании его быстрых субоптимальных модификаций. Одна из возможных модификаций – последо-

вательный алгоритм, реализующий на каждом шаге отождествление только двух групп пеленгов ИР.

При отождествлении двух групп, содержащих s_1 и s_2 пеленгов, статистические процедуры требуют проверки $\sum_{k=1}^{\min(s_1,s_2)} c_{s_1}^k c_{s_2}^k k!$ гипотез.

Будем считать, что гипотезы, допускающие появление ложных замеров пеленгов, маловероятны, и в дальнейшем будем рассматривать только те гипотезы, в которых предполагается, что все пеленги от ПРЛС с меньшим числом пеленгов должны быть отождествлены с пеленгами другой ПРЛС. Число таких гипотез (для определенности примем $s_1 < s_2$)

$$c_{s_2}^{s_1} s_1! = \frac{s_2!}{(s_2 - s_1)!}.$$

В каждом из $c_{s_2}^{s_1}$ семейств гипотез s_1 пеленгов $\Psi_1^{(1)}, \Psi_2^{(1)}, \dots, \Psi_{s_1}^{(1)}$ отождествляются с s_1 пеленгами $\Psi_{j_1}^{(2)}, \Psi_{j_2}^{(2)}, \dots, \Psi_{j_{s_1}}^{(2)}$ из множества $\{\Psi_1^{(2)}, \Psi_2^{(2)}, \dots, \Psi_{s_2}^{(2)}\}$ и среди $s_1!$ гипотез отыскивается оптимальная (в смысле заданного критерия) гипотеза. Затем из $c_{s_2}^{s_1}$ отобранных гипотез окончательный выбор делается в пользу той гипотезы, которая в наибольшей степени отвечает заданному критерию.

Исследование последовательного алгоритма отождествления пеленгов ИР без потери общности проведем при $s_1 = s_2 = s$.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ПЕЛЕНГОВ ИР

Для определенности из состава НК группы выберем НК1, на котором должны быть решены задачи отождествления пеленгов и определения координат ИР.

Последовательный алгоритм основан на отождествлении группы пеленгов ИР, обнаруженных ПРЛС НК1, последовательно с каждой из групп пеленгов ИР, обнаруженных ПРЛС других НК группы. В результате из пар тождественных пеленгов будут сформированы группы из n тождественных пеленгов. Очевидно, что группирование всех пеленгов будет проведено верно, если в каждой группе несовпадение точек пересечения соответствующих пеленгов обусловлено лишь ошибками измерений.

Для отождествления двух групп пеленгов ИР, как и любых других объектов, целесообразно использовать двухэтапную процедуру.

Все возможные гипотезы о соответствии пеленгов различных ИР удобно представить в виде матрицы отождествления \mathbf{B} , формируемой на первом этапе путем попарного отождествления пеленгов. Данная операция позволяет предварительно выявить мало правдоподобные пары пеленгов (провести селекцию ложных ТПП) и, тем самым, сократить число возможных ВО, сравниваемых на втором этапе.

Ввиду того что точки стояния ПРЛС разнесены в пространстве, замеры пеленгов ИР $\Psi_{j_1}^{(1)}$ и $\Psi_{j_2}^{(2)}$ не могут быть использованы непосредственно в качестве сравниваемых информативных параметров при формировании матрицы отождествления. Предлагается использовать информацию, относящуюся к сопоставляемым пеленгам: результаты распознавания типов ИР, а также априорную информацию о возможном местоположении групповой цели (кругового ордера) и ее размера.

При формировании матрицы отождествления вначале проверяем, попадает ли дальность, рассчитанная по сопоставляемым пеленгам, в допустимый диапазон с вероятностью не ниже заданной. Если дальность в допустимый диапазон не попадает, то соответствующий элемент матрицы отождествления полагается равным нулю, иначе проверяется, пересекаются ли массивы номеров типов ИР сопоставляемых пеленгов. Если не пересекаются, то соответствующий элемент матрицы отождествления полагается равным нулю, в противном случае – равным единице.

Для расчета допустимого диапазона дальностей считаем, что область возможного местоположения ИР – кольцевой

сектор с центральным углом, равным ширине сектора при-
ема излучений, внутренним и внешним радиусами, равными
соответственно $r_0 - R_0$ и $r_0 + R_0$, где r_0 – дальность до центра
ордера; R_0 – радиус ордера. ТПП, не попадающие в указанную
область, классифицируются как ложные. Соответственно, до-
пустимый диапазон дальностей – это диапазон от $r_{\min} = r_0 - R_0$
до $r_{\max} = r_0 + R_0$.

Для рассчитанной дальности r должны выполняться не-
равенства $r_{\min} - \Delta_r \leq r \leq r_{\max} + \Delta_r$. Величину Δ_r задают такой,
чтобы с «практической достоверностью», т. е. с заранее задан-
ной вероятностью, близкой к 1, гарантировать выполнение
указанных неравенств.

Дальность r ИР от НК1 определяется триангуляционным
методом (аналогично определяется дальность r_0 до центра ор-
дера от НК1 по пересечению биссектрис секторов излучения)
в соответствии с выражением

$$r = \left| \frac{B_{1-2} \cos \beta_2}{\sin(\beta_1 - \beta_2)} \right|,$$

где B_{1-2} – база (расстояние между НК1 и взаимодействующим
кораблем, который условно обозначим как НК2); β_1, β_2 –
азимуты ИР соответственно с НК1 и НК2, отсчитываемые
от направления, перпендикулярного к базе [7].

При этом среднеквадратическая ошибка (СКО) опреде-
ления дальности ИР от НК1 рассчитывается как

$$\sigma_r = \sigma_\psi \frac{r^2}{B_{1-2} \cos \beta_1} \sqrt{G_1^2 + F_1^2}, \quad (8)$$

где σ_ψ – СКО измерения пеленга; $G_1 = 1 - \frac{B_{1-2}}{r} \sin \beta_1$;
 $F_1 = 1 + \left(\frac{B_{1-2}}{r}\right)^2 - 2 \frac{B_{1-2}}{r} \sin \beta_1$ [7].

Будем считать, что систематические ошибки измерения
дальности отсутствуют, а случайные ошибки распределены
по нормальному закону с СКО σ_r . Тогда α -процентный дове-
рительный интервал для случайных ошибок задается в виде

$$\left(r_{\frac{100-\alpha}{2}} \sigma_r, r_{\frac{100+\alpha}{2}} \sigma_r \right),$$

где r_β определяется из условия $P(R \leq r_\beta) = \beta / 100$ (здесь R –
нормально распределенная стандартизованная случайная
переменная). Величина Δ_r устанавливается равной половине
 α -процентного доверительного интервала. Например, в со-
ответствии с «правилом трех сигм» $\Delta_r = 3\sigma_r$. Доверительная
вероятность при этом приблизительно равна 0,997.

Введем также обозначения: $\mathbf{M}_{\tau_{j_1}}, \mathbf{M}_{\tau_{j_2}}$ – множества но-
меров типов ИР из каталога, наиболее правдоподобных по
РТ параметрам типу соответствующего ИР, обнаруженного
первой и второй ПРЛС соответственно. Тогда элементы мат-
рицы $\mathbf{V} = \{b_{j_1 j_2}\}$, $j_1, j_2 = 1, 2, \dots, s$ принимают значения 1 или 0 в
зависимости от выполнения условий

$$\begin{cases} r \geq r_{\min} - \Delta_r; \\ r \leq r_{\max} + \Delta_r; \\ \mathbf{M}_{\tau_{j_1}} \cap \mathbf{M}_{\tau_{j_2}} \neq \emptyset, \end{cases} \quad (9)$$

где \emptyset – пустое множество; \cap – пересечение множеств.

При выполнении всех условий в (9) соответствующий
элемент $b_{j_1 j_2} = 1$, а при невыполнении хотя бы одного из этих
условий $b_{j_1 j_2} = 0$.

Для исключения неоднозначности, которая может остаться
после первого этапа, необходим второй этап отождествления.
На втором этапе используются векторы апостериорных веро-
ятностей типов ИР, и для каждой пары сопоставляемых пелен-
гов вычисляется мера сходства относящихся к ним векторов.

Формализуем задачу оценки меры сходства двух случай-
ных векторов. Требованию высокой надежности и точности
наилучшим образом отвечает корреляционная модель, а тре-
бованию быстродействия – статистическая модель. Основ-
ное затруднение при попытке практического использования

статистической модели возникает из-за априорной неопре-
деленности плотностей распределения случайных векторов.

Применим корреляционную модель, в которой мерой
сходства двух случайных векторов служит коэффициент кор-
реляции. В корреляционном методе распознавания (отождест-
вления) вычисленные коэффициенты корреляции сравнива-
ются по величине, и решение выносится в пользу гипотезы,
соответствующей наибольшему из них.

Все типы ИР НК группы пронумеруем от 1 до n_r . Тогда кор-
реляционная сумма j_2 -го вектора с координатами (отсчетами)

$$\left| P_{k j_2} \right|, \quad k = 1, 2, \dots, n_r \text{ второй ПРЛС для } j_1\text{-го вектора с отсчетами} \\ \left| P_{j_1 k} \right|, \quad j_1 = 1, 2, \dots, s \text{ первой ПРЛС (при условии его нормировки} \\ \sum_{k=1}^{n_r} \left| P_{k j_1} \right|^2 = 1) \text{ имеет вид}$$

$$K_{j_1 j_2} = \sum_{k=1}^{n_r} \left| P_{k j_1} \right| \left| P_{k j_2} \right|.$$

Корреляционная сумма характеризует степень сходства
 j_2 -го вектора второй ПРЛС с различными векторами первой
ПРЛС и пропорциональна коэффициенту корреляции сопос-
таваемых векторов

$$\rho_{j_1 j_2} = \sum_{k=1}^{n_r} \left| P_{k j_1} \right| \left| P_{k j_2} \right| / \left(\sum_{k=1}^{n_r} \left| P_{k j_2} \right|^2 \right)^{1/2}, \quad j_1, j_2 = 1, 2, \dots, s.$$

Мерой правильности отождествления служит максимум
сходства результатов распознавания типов ИР. Алгоритм
предусматривает выбор ВО по максимуму суммы или сум-
мы квадратов мер сходства соответствующих пар векторов
апостериорных вероятностей типов ИР. В силу монотонности
квадратичной функции оба критерия равносильны.

Задача отождествления сводится к задаче выбора (част-
ный случай транспортной задачи), которая решается путем
отыскания максимума суммы [8]

$$\sum_{j_1=1}^s \sum_{j_2=1}^s \rho_{j_1 j_2} c_{j_1 j_2}, \quad (10)$$

где $\sum_{j_1=1}^s c_{j_1 j_2} = 1$; $\sum_{j_2=1}^s c_{j_1 j_2} = 1$; $j_1, j_2 = 1, 2, \dots, s$.

Решающая матрица $\mathbf{C} = \{c_{j_1 j_2}\}$, в каждой строке и каждом
столбце которой находится только один ненулевой элемент,
равный единице, представляет собой допустимый план реше-
ния задачи выбора и, соответственно, один из возможных ВО.
Тот из допустимых планов, который обеспечивает максимум
суммы (10), является оптимальным планом и, соответственно,
оптимальным ВО, а значения индексов j_1 и j_2 единичных эле-
ментов $c_{j_1 j_2}$ решающей матрицы \mathbf{C} определяют соответствие
между пеленгами первой и второй ПРЛС.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ ПЕЛЕНГОВ ИР

Экспериментальное исследование разработанного алго-
ритма отождествления ИР выполнено по показателям эф-
фективности определения местоположения ИР и проведено
методом статистического моделирования на ЭВМ в условиях
конкретной физической задачи.

Имитировалась тактическая обстановка, в которой пелен-
гуемые ИР образуют компактную группу, а соответствующие
им излучающие цели принадлежат типовому круговому ордеру
радиусом 10 км, состоящему из пяти кораблей (целей). Один
корабль расположен в центре ордера, остальные корабли рав-
номерно распределены на периферии ордера (по окружности).

Для НК группы (КПУС) выбрана следующая конфигура-
ция: расстояние между НК1 и НК2 (база) $B = 30$ км; НК3 и
НК5 расположены по одну сторону от базы, а НК4 и НК6 – по
другую; НК3 и НК5 с НК1 находятся на одном направлении, а
НК4 и НК6 с НК1 – на другом и эти направления составляют
с базой углы $\pm 10^\circ$; расстояния от НК1 до НК3 и НК4 равны
0,95Б, а расстояния от НК1 до НК5 и НК6 равны Б.

В числе других исходных данных были заданы: полярные координаты центра ордера относительно НК1 – 100 км и 30°; общее число типов ИР на кораблях ордера – 10.

РТ параметры (несущая частота сигнала, длительность импульса, период повторения импульсов) ИР измерялись с типовыми значениями СКО.

Варьируемыми параметрами при моделировании являлись число n НК в группе (1–6) и СКО измерения пеленга σ_ψ (0,5–1,5°).

Точность местоположения цели на плоскости может быть оценена величинами главных СКО эллипса рассеяния σ_ξ, σ_η , соответствующего ковариационной матрице ошибок, и за критерий точности двумерной гауссовской оценки принята площадь эллипса, построенного на полуосях σ_ξ, σ_η .

Результаты моделирования определения НК1 местоположения центральной цели ордера с использованием последовательного алгоритма отождествления пеленгов ИР приведены на рис. 1 и рис. 2.

На рис. 1 представлен график зависимости относительного прироста точности определения местоположения цели v_r от числа n НК в группе (ПРЛС в КПУС) при СКО измерения пеленга $\sigma_\psi = 1^\circ$.

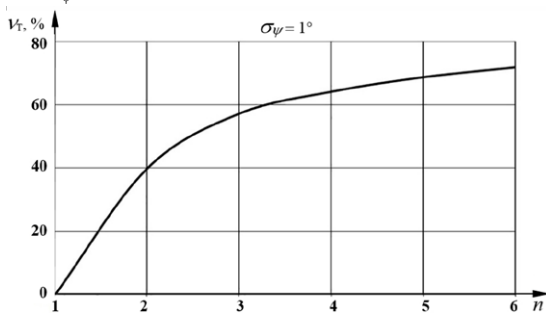


Рис. 1. Зависимость относительного прироста точности определения местоположения цели от числа НК в группе

Прирост точности оценивался относительно точности, достигаемой при использовании ПРЛС одиночного НК за 18 минут при его маневрировании, обеспечивающем размер базы 30 км, в соответствии с выражением

$$v_r(n) = \frac{S_{эл.1} - S_{эл.n}}{S_{эл.1}} \times 100\%,$$

где $S_{эл.n}$ – площадь эллипса рассеяния при определении координат цели в группе из n НК.

На рис. 2 для режима двух НК в группе представлены графики зависимостей от СКО измерения пеленга σ_ψ :

- главных СКО σ_ξ и σ_η , полученных статистическим моделированием;
- СКО определения дальности до цели σ_r , рассчитанной по формуле (8).

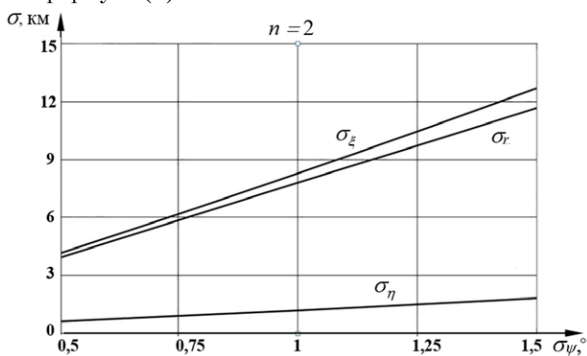


Рис. 2. Зависимость СКО определения линейных координат цели от СКО измерения пеленга

Достаточно хорошее совпадение на рис. 2 графиков зависимостей $\sigma_\xi(\sigma_\psi)$ и $\sigma_r(\sigma_\psi)$ во всем диапазоне изменения σ_ψ свидетельствует о том, что в режиме двух НК в группе большая ось эллипса рассеяния местоположения цели лежит между пеленгами на цель из точек стояния пеленгующих ее ПРЛС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При обнаружении пространственно разнесенными ПРЛС, объединенными посредством каналов связи в КПУС нескольких ИР, возникает необходимость группирования результатов измерений по их принадлежности к каждому из ИР, т. е. решения задачи отождествления пеленгов ИР.

В связи с тем, что точки стояния отдельных ПРЛС разнесены в пространстве, замеры пеленгов как информативные параметры отождествления непосредственно не могут быть использованы. В качестве дополнительных информативных параметров отождествления предложено использовать результаты распознавания типов ИР (вектор апостериорных вероятностей принадлежности ИР к возможным типам и соответствующий массив номеров типов).

Вследствие высокой вычислительной сложности отождествления пеленгов ИР методом полного перебора разработан субоптимальный – последовательный алгоритм, обеспечивающий существенное сокращение вычислительных затрат, что особенно важно для таких систем пассивной локации как КПУС.

Качество отождествления пеленгов ИР последовательным алгоритмом оценено по результатам статистического моделирования на ЭВМ задачи определения местоположения излучающих целей при работе КПУС по типовому круговому ордеру. В частности, в режиме двух НК в группе точность определения дальности до цели составляет не более 10% от фактической дальности до цели при СКО измерения пеленга $\sigma_\psi \leq 1^\circ$.

В заключение отметим, что приведенные точностные характеристики оценивания местоположения ИР в КПУС получены в предположении отсутствия помех в каналах связи, и поэтому их можно рассматривать как потенциально достижимые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
2. Булычёв Ю.Г., Таран В.Н. Инвариантно-групповой метод отождествления пеленгов целей в триангуляционных многопозиционных системах пассивной локации // Радиотехника и электроника. – 1987. – Т. 32, № 4. – С. 755 – 765.
3. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – Кн.2. – М.: Сов. радио, 1968. – 504 с.
4. Мальцев О.Г. Байесовские алгоритмы классификации объектов – носителей источников радиоизлучения // Изв. РАН. – 2005. – Вып. 4 (45). – С. 108 – 113.
5. Подолёкин Ю.Ф., Мальцев О.Г. Определение координат корабельных источников радиоизлучения многопозиционной системой пеленгаторов, установленных на летательных аппаратах // Изв. РАН. – 2005. – Вып. 4 (45). – С. 103 – 108.
6. Тихонов Д.В., Экало А.В. Инвариантная к геометрическим искажениям идентификация элементов изображений точечной динамической сцены // Автометрия. – 1990. – № 3. – С. 51 – 57.
7. Багдасарян С.Т., Хачатуров В.Р. Оптимизация оценивания координат объекта многопозиционной радиолокационной системой при избыточности информации // Радиотехника и электроника. – 1992. – Т. 37. – № 10. – С. 1839 – 1846.
8. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования. – М.: Сов. радио, 1964. – 643 с. ■

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей статье* был затронут способ управления манипуляторным устройством (МУ) с помощью копирующего устройства. В данной части серии статей опишем процесс создания упрощенной полунатурной модели МУ МГМ-7 масштабом 1:3. Также раскроем вопрос создания системы управления для трехзвенного случая МУ и реализуем возвратно-поступательное движение на базе созданной полунатурной модели. Стоит отметить, что возвратно-поступательное движение – неотъемлемый режим движения МУ при выполнении подводно-технических работ, в частности, в тех случаях, когда стоит задача движения захвата МУ по векторам.

Полноценным решением обеих проблем может быть использование абсолютного поворотного оптического датчика и электрического двигателя с волновым редуктором.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ 3D ПЕЧАТИ

Технологии 3D печати в современном мире занимают значимое место при проектировании и создании конструктивных изделий сложных форм. Они играют важную роль как в промышленной сфере, так и в области медицины и здравоохранения. Нельзя умалять достоинство данного подхода, равно как и недооценивать его потенциала [1].

Посредством трехмерной печати реализуются процессы, с помощью которых компоненты изготавливаются непосредственно из компьютерных моделей путем выборочного осаждения или закрепления материалов в последовательно идущих друг за другом слоях. Несколькими годами ранее эти технологии традиционно ограничивались изготовлением моделей, пригодных для визуализации продукции, но за последнее десятилетие они быстро переросли в новую парадигму под названием аддитивное производство.

В настоящее время мы являемся свидетелями того, как аддитивное производство используется для изготовления целого ряда функциональных компонентов для конечного применения. Концепция фотополимеризации заключается в процессе, при котором мономеры соединяются в полимерную цепь с помощью фотонов. Полимеризация обеспечивается лазерным лучом, направленность которого контролируется зеркала для отслеживания профиля

*См. статью «Разработка и создание системы управления глубоководным гидравлическим манипулятором МГМ-7 с прототипированием на основе полунатурной модели с электрическим приводом». – «Морской вестник», 2023, № 1(85).

ТОЧНОСТЬ И СОВЕРШЕНСТВО: ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ, 3D ПЕЧАТИ И ПРОТОТИПИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ ПРИ СОЗДАНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГЛУБОКОВОДНЫМ МАНИПУЛЯТОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ МГМ-7

П.К. Смирнов, ст. инженер опытно-экспериментального инженерно-технического центра АО «МНС», аспирант СПбПУ им. Петра Великого,

Е.А. Черкашин, программист опытно-экспериментального инженерно-технического центра АО «МНС», аспирант СПб ФИЦ РАН, контакт. тел. (812) 320 3840

и растривания площади поперечного сечения заданной геометрии на поверхности фотоотверждаемой смолы.

В частности, данный подход был реализован при создании упрощенной полунатурной модели МУ МГМ-7. Сначала была создана 3D модель в масштабе 1:3 к МУ МГМ-7, а затем она была воспроизведена средствами фотополимерной печати (рис. 1).

Аддитивные технологии позволяют обеспечить быстрое прототипирование разрабатываемых изделий в короткие сроки и по приемлемой цене.

УПРАВЛЕНИЕ МАНИПУЛЯТОРОМ С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА (ЦД)

Современные средства автоматизированного проектирования также позволяют создавать цифровые двойники (ЦД) разрабатываемых изделий, оснащая виртуальные модели физическими свойствами реальных изделий [2]. Такая же работа была проведена с полунатурной моделью МУ МГМ-7. Ограничение подвижности звеньев манипулятора позволило реализовать функционал по заданной пространственной траектории, а также све-



Рис. 1. Цифровая (слева) и напечатанная (справа) модели МУ

ривать результаты работы алгоритмов при обработке возвратно-поступательного перемещения захвата МУ. Для этого в декартовых координатах была очерчена желаемая траектория движения манипулятора и запущена серия симуляций, которая позволила получить сигналы управления движением сервоприводов в удобном для интерпретации формате (рис. 2).

На рис. 2 график справа отражает изменение угловых координат сервопривода на примере одного из суставов манипулятора. Управление сложными технологическими изделиями средствами специализированного программного обеспечения на примере полунатурной модели МУ МГМ-7 позволяет как оценить зоны охвата создаваемого манипулятора, так и сгенерировать сигналы управления. Этот подход оказывается крайне полезным, если необходимо «защитить» в программную часть системы алгоритмы движения по стандартным траекториям. Однако при этом не реализуется универсальный подход к управлению МУ. Это является недостатком подобного подхода.

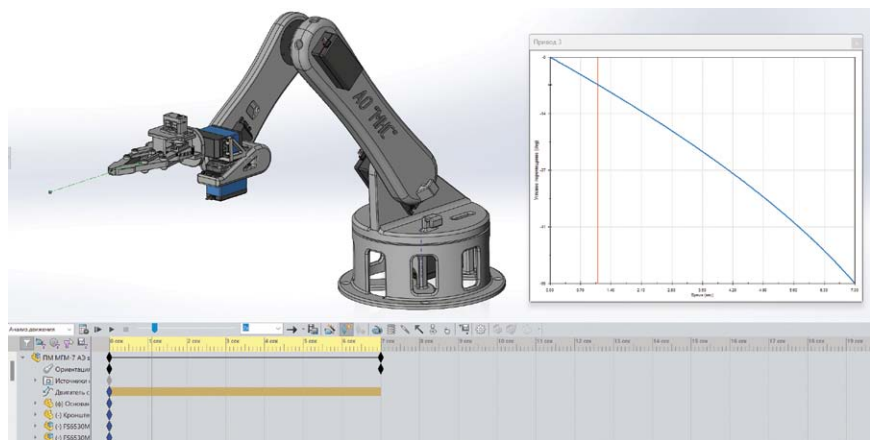


Рис. 2. Анализ движения в ЦД МУ МГМ-7

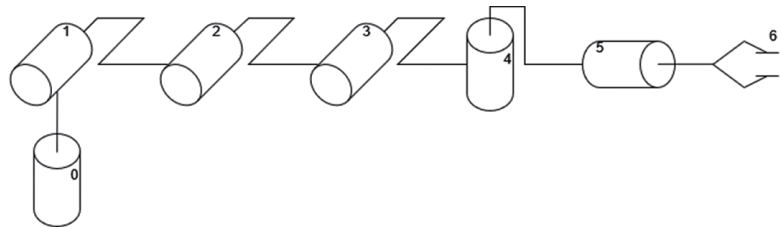


Рис. 3. Кинематическая схема МУ МГМ-7

ИНТЕГРАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ И ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ УПРАВЛЕНИЯ

Решение обратной задачи кинематики (ОЗК) позволяет реализовать возвратно-поступательное движение захвата МУ. Кинематическая схема МУ МГМ-7 представлена на рис. 3.

Для апробации алгоритмов управления на языке Python реализована программа, симулирующая движение звеньев 1–3, которые изменяют свой угол поворота в плоскости XOY . Остальные звенья остаются неподвижными, чтобы отработать решение ОЗК для вращения вокруг точки в плоскости XOY (рис. 4) и для перемещения захвата МУ по заданным координатам (рис. 5).

На рис. 4 продемонстрировано движение трехосевой модели манипулятора вокруг зафиксированной точки в пространстве. На рис. 5, в свою очередь, отображен пример движения МУ по треугольной траектории.

Написанная программа рассчитывает углы поворота двигателей относительно оси X , а также относительно предыдущих звеньев (рис. 6).

Точный расчет всех звеньев позволяет установить всевозможные траектории поворота сочленений на пути к заданной координате в трехмерном пространстве.

Для полноценного решения ОЗК необходимо воспользоваться методом Денавита–Хартенберга. Кроме базовой системы координат для каждого звена на оси его сочленения определяется ортонормированная декартова система координат (рис. 7) (x_i, y_i, z_i) , где $i = 1, 2, \dots, n$, а n равно числу степеней свободы манипулятора [3].

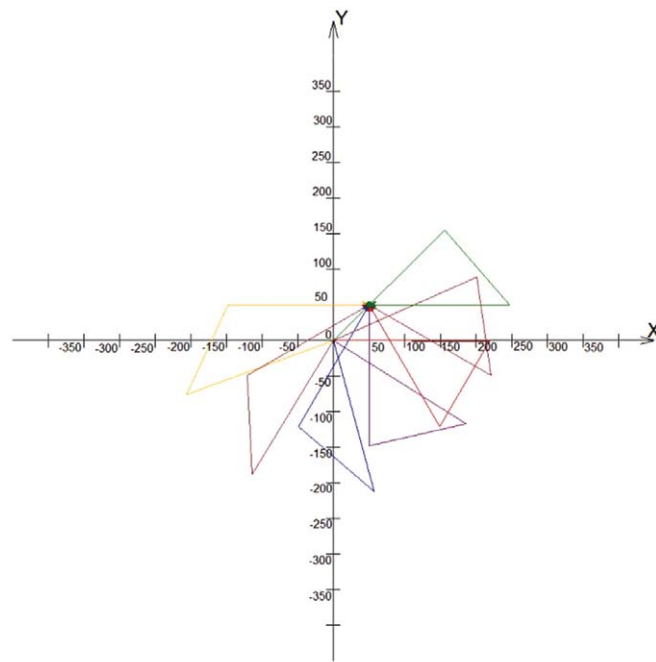


Рис. 4. Результат решения ОЗК для вращения трех звеньев вокруг точки в пространстве

Суть данного метода заключается в обработке четырех параметров, часто обозначаемых как d , θ , a и α , которые используются для определения преобразований между соседними координатными кадрами – набором осей для каждого из сочленений МУ:

d – расстояние по общей нормали между осями Z двух последовательных координатных рамок. Это расстояние между началами координат текущего и следующего кадров вдоль их оси Z ;

θ – параметр, который определяет поворот вокруг оси Z текущего коор-

динатного кадра, необходимый для его совмещения с осью Z следующего координатного кадра;

a – расстояние вдоль оси X текущего кадра, необходимое для достижения общей нормали, в которой пересекается ось Z следующего кадра. Данный параметр представляет собой длину звена между двумя шарнирами;

α – величина поворота вокруг оси X текущего кадра, необходимого для его совмещения с осью X следующего координатного кадра.

Назначив эти параметры для каждого шарнира робота-манипулятора, мож-

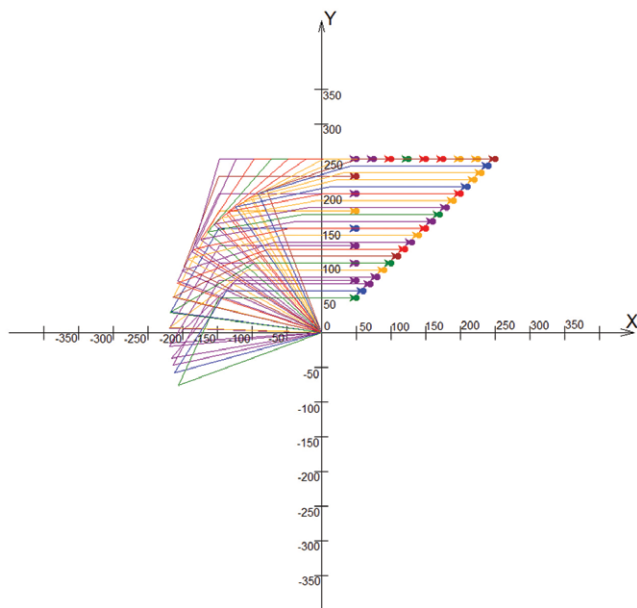


Рис. 5. Результат решения ОЗК для перемещения захвата МУ по заданным координатам

```

Для угла  $\theta$  значение  $\cos = 1.0$ ,  $\sin = 0.0$ 
Для угла  $\theta$  значение  $p2x = -147.5$ ,  $p2y = 50.0$ 
Расстояние между начальной точкой и концом 2: 155.7441812717252
Угол первого плеча относительно оси X: 200.3738782392003
Угол второго плеча относительно первого: -135.11971859503524
Проверка
Для углов 200.3738782392003 и -135.11971859503524 координаты: -79.11, -134.16

```

Рис. 6. Результат работы программного кода

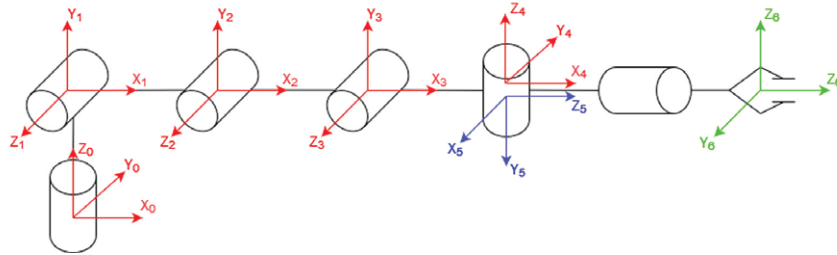


Рис. 7. Определение систем координат для звеньев манипулятора

но создать последовательность преобразований координат, описывающих геометрию и движение робота.

АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

При построении и испытании упрощенной полунатурной модели МУ МГМ-7 выявились следующие проблемы:

1. Неточность датчика положения.

В копируемой руке установлены переменные резисторы (потенциометры) в каждом из звеньев. Такой подход имеет несколько недостатков.

Во-первых, переменный резистор не является полностью помехоустойчивым устройством, а каждый потенциометр подключается в электрическую схему с помощью трех проводов. Ток, идущий по этим проводам, добавляет шуму в электрическую схему и может исказить значения датчика.

Во-вторых, конструкция копируемой руки предусматривает установку звеньев МУ напрямую на вал потенциометра, а под весом всех последующих звеньев возникают радиальные нагрузки такой величины, что скользящий контакт потенциометра размыкается, вследствие чего образуются существенные погрешности в показаниях датчика.

В-третьих, процесс преобразования данных с потенциометра оказывается неточным, так как данные с резистора с диапазоном поворота 0–300 градусов считываются контроллером как значения 0–1023 бит. Неточность заключается в том, что на каждый градус поворота приходится ~3,41 единицы аналогового сигнала. Решением данной проблемы является использование абсолютного поворотного оптического датчика, который выдает значения углов со значительно большей точностью.

2. Использование сервоприводов.

В конструкции копирующей руки на местах потенциометров предусмотрена установка сервоприводов. Важными для контекста данной статьи частями сервопривода являются сервомотор, потенциометр и плата управления. Благодаря потенциометру сервомотор имеет обратную связь, это позволяет сервоприводу поворачиваться на заданный угол, однако сервоприводы бывают двух типов – цифровые и аналоговые.

Цифровые сервоприводы обладают более высокой точностью, что вызывает некие трудности в реализации данного проекта. Это обусловлено тем, что конструкционно каждое последующее звено так же, как и в копируемой руке, «насажено» на вал сервопривода, а под действием веса следующих звеньев появляется радиальная нагрузка на вал сервопривода, которую плата управления пытается компенсировать слишком часто, вследствие чего возникает тряска сервопривода.

Данную проблему можно решить двумя способами – конструкционно внести изменения в устройство сервопривода или перепрограммировать плату управления, поменяв коэффициент дифференцирующего звена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были продемонстрированы методы управления манипулятором устройством на базе цифрового двойника и симулятора, написанного на Python. Также были раскрыты преимущества использования аддитивных технологий при прототипировании и продемонстрировано применение 3D печати на примере упрощенной полунатурной модели МУ МГМ-7. Рассмотрены недостатки подхода в управлении манипулятором посредством копирующей системы.

С целью разработки и реализации системы управления МУ МГМ-7 было принято решение о создании полномасштабной модели манипулятора на базе электрических приводов – прецизионных волновых редукторов. Результаты данного направления будут описаны в следующих частях данной серии статей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панков Д. Э., Соломонов И. А., Терин А. М., Тутушкин А. К. Лазерная стереолитография (SLA): технология 3D-печати. // Молодой ученый. – 2020. – № 48 (338). – С. 48–49. – URL: <https://moluch.ru/archive/338/75621/> (дата обращения: 23.03.2021).
2. Кулешов В. С., Лакота Н. А. Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы. – М.: Машиностроение, 1986. – С. 52–56.
3. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника. – М.: Мир, 1989. ■

В современных условиях непрерывно возрастающие требования к уровню боевой готовности Вооруженных сил Российской Федерации, в том числе Военно-Морского Флота, динамичное развитие и совершенствование техники связи, изменение основ ее боевого применения, а также способов управления приводят к необходимости постоянного совершенствования системы подготовки специалистов связи как в мирное, так и в военное время.

В целях повышения уровня подготовки специалистов связи за последние десять лет был разработан целый комплекс учебно-тренировочных средств. Однако многие из них не позволяют подготовить классных специалистов для действий в условиях боевой обстановки.

Кроме того, существующие тренажеры были созданы без учета формирования единого информационного пространства, не рассчитаны на создание многоуровневой системы подготовки специалистов и не могут осуществлять взаимодействие элементов системы.

В связи с этим в ходе разработки «Учебно-тренировочного комплекса связи для подготовки командиров, флагманских связистов соединений и личного состава боевых частей связи надводных кораблей к эксплуатации современных комплексов и средств связи, организации и боевому использованию связи» (далее – УТКС НК) был предложен передовой подход к построению комплексов обучения со стройной, многоуровневой системой управления боевой подготовкой.

Для проведения комплексных тренировок по связи с применением реальных данных, а также по управлению, их передаче и централизованной обработке на программных и программно-аппаратных тренажерах, размещенных в учебных классах (учебных боевых постах), в состав УТКС НК был введен программный комплекс формирования моделей графических и текстовых документов (далее – ПК МГТД). Он позволяет полностью имитировать реальный комплекс планирования связи на надводном корабле в соответствии с действующими регламентирующими документами.

Данный ПК МГТД применяется как составная часть УТКС НК и предназначен для отработки и контроля полученных знаний по результатам изучения типовых форм документов по связи, действующих на флоте, и правил их заполнения. С помощью соответствующих режимов руководитель обучения вводит исходные данные и задает начальную тактическую обстановку, а затем предлагает сценарии изменения этой обстановки. Обучаемый должен с помощью программного имитатора разработать адаптивные под заданный сценарий документы по связи. Полученный результат сохраняется для дальнейшей проверки руководителем.

Основной функцией ПК МГТД является создание адаптивных к сценариям, моделируемой обстановке и действиям обучающихся моделей документов по связи, вывод и отображение их в графическом или текстовом формате на экране компьютера. ПК МГТД связи включает:

- модуль ведения базы данных (БД) о начальной обстановке;
- программный модуль оценки возможностей связи (вероятностно-временных характеристик) в заданных районах на радиоволнах различных диапазонов в условиях радиоэлектронного противодействия противника;
- модуль вывода информации на цифровую электронную карту мира.

Для работы ПК МГТД предусмотрены режимы работы «руководитель обучения» и «обучаемый».

В режиме «руководитель обучения» предполагается создание упражнений в соответствии с замыслом учебного про-

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ФОРМИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ ГРАФИЧЕСКИХ И ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО СВЯЗИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ВМФ РОССИИ

*В.Э. Гель, канд. воен. наук, доцент, ген. директор,
В.Н. Сучков, гл. инженер-программист, АО «УК «Радиостандарт»,
Ф.А. Скорик, гл. специалист по программному обеспечению,
АО «НПО Завод «Волна»,
контакт. тел. (812) 244 9442*

цесса. В упражнения руководителем может включаться формы документов из перечня, графические (например, скриншот цифровой карты с начальной обстановкой) и текстовые файлы, а также подключать возможность использования обучаемым расчетных задач. Перед созданием упражнения руководитель в соответствии с замыслом (планом) обучения формирует начальную тактическую обстановку путем задания – выбора объектов, средств связи и радиолиний, а также нанесения объектов на цифровую карту местности. Он может формировать документы по связи и сохранять некоторые из них в виде текстовых документов с последующим выводом на печать для дальнейшего использования в учебном процессе.

В режиме «обучаемый» для конкретной программы обучения командиров, флагманских связистов и т. д. используются упражнения, которые задает руководитель для данной группы обучающихся. При запуске ПК МГТД в режиме «обучаемый» программа получает в виде входных данных идентификатор обучающегося и идентификатор упражнения, предназначенного для данной категории обучающихся. После запуска программы обучающемуся доступны формы документов по связи, дополнительные документы и заданные расчетные задачи. В ходе учебного процесса он создает документы по связи и сохраняет их в виде текстовых документов или в БД ПК МГТД либо в виде скриншотов.

После выполнения упражнения руководитель может оценить полученные результаты: документы в виде текста, в формах из БД или в графическом виде.

Алгоритм работы с ПК МГТД предусматривает следующую последовательность действий:

- ввод исходных данных и формирование начальной обстановки в режиме «Ведение БД»;
- подготовка упражнения с возможностью применения дополнительных документов и расчетных задач в режиме «руководитель обучения»;
- выполнение назначенных руководителем упражнений в режиме «обучаемый»;
- оценка результатов тренировки и их направление в УТКС НК.

ПК МГТД работает, используя информацию, поступающую из ресурсного источника – БД, где хранится постоянная, условно постоянная и переменная информация.

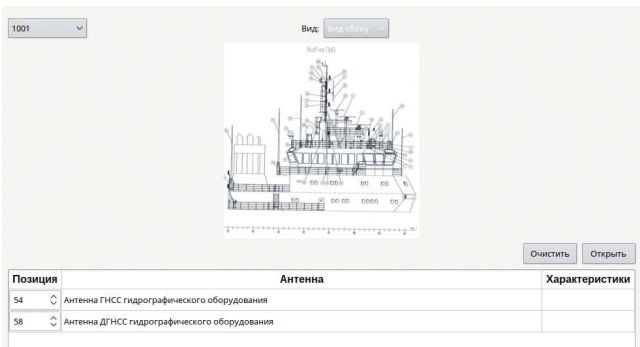
К *постоянной информации* относятся данные о физических величинах, характеристиках среды распространения волн и другие параметры; вводится на стадии разработки программы и в дальнейшем не корректируется.

К *условно постоянной информации* относится информация о начальной обстановке, например, сведения о радиосетях, радиоканалах, типовых проектах кораблей, связанного вооружения; вводит оператор в БД ПК МГТД с помощью форм, представленных интерфейсом ПК МГТД в режиме «Ведение БД».

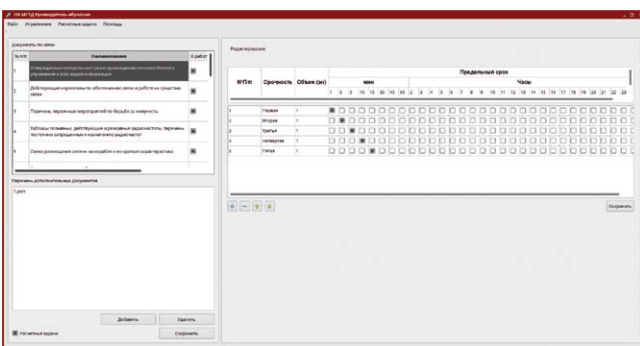
Переменную информацию, такую как координаты объектов, частоты, мощность работы станций и другую, вводит оператор с помощью специально разработанных форм.

В ПК МГТД используются следующие модели (экранные формы) документов по связи:

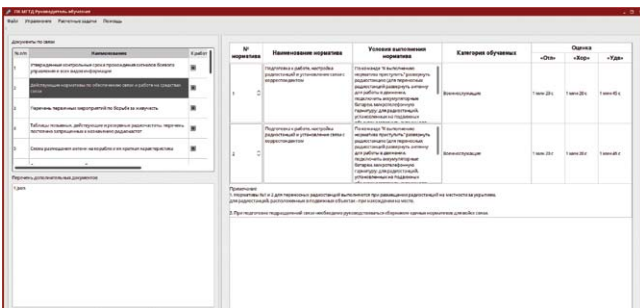
- схема размещения антенн на корабле и их краткая характеристика;



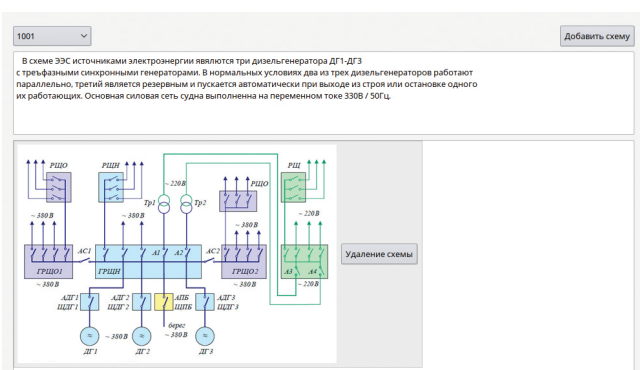
- утвержденные контрольные сроки прохождения сигналов боевого управления и всех видов информации;



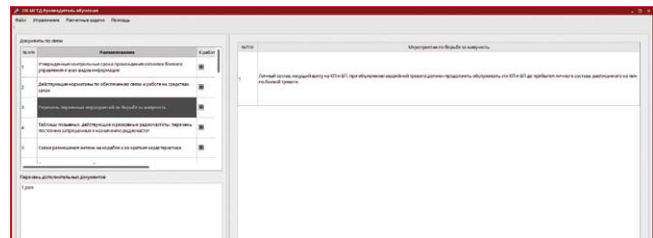
- графики приготовления (нормального, экстренного), осмотра и проверки оружия и технических средств боевой части связи;
- действующие нормы по обеспечению связи и работе на средствах связи;



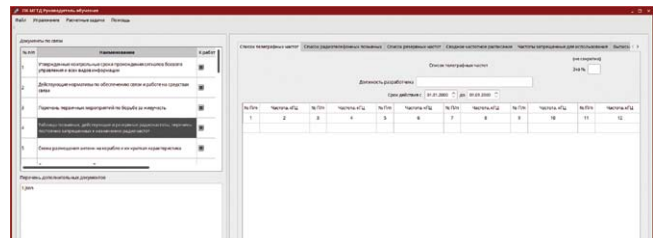
- схемы основного и аварийного электропитания комплекса и средств связи корабля;



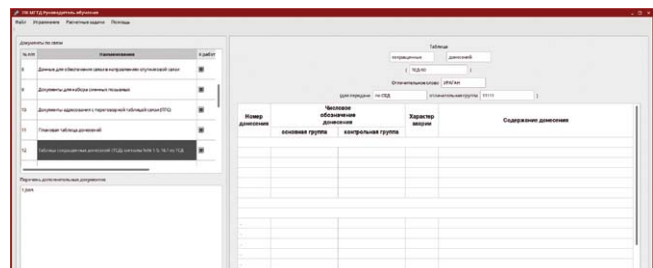
- перечень первичных мероприятий по борьбе за живучесть;



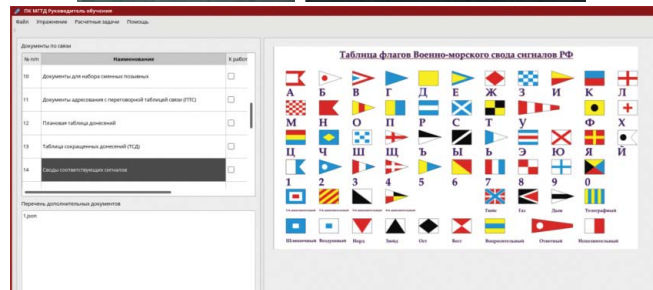
- таблицы позывных, действующие и резервные радиочастоты, перечень постоянно запрещенных к назначению радиочастот;



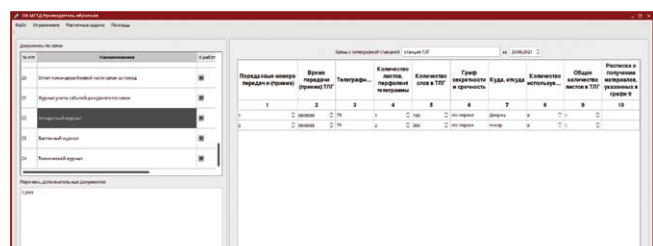
- комплект радиоданных для работы на радиостанциях в режиме ППРЧ;
- документы для набора сменных позывных;
- документы адресования с переговорной таблицей связи (ПТС);
- таблица сокращенных донесений (ТСД);



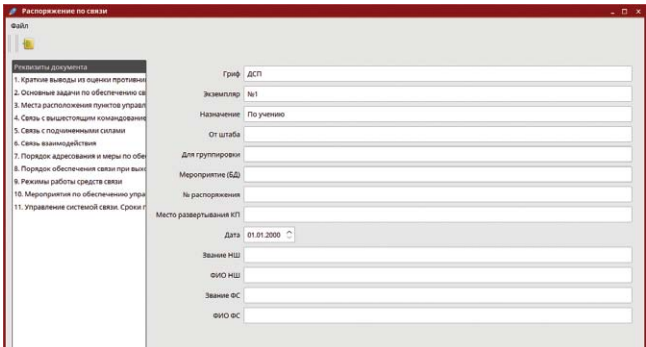
- своды соответствующих сигналов;



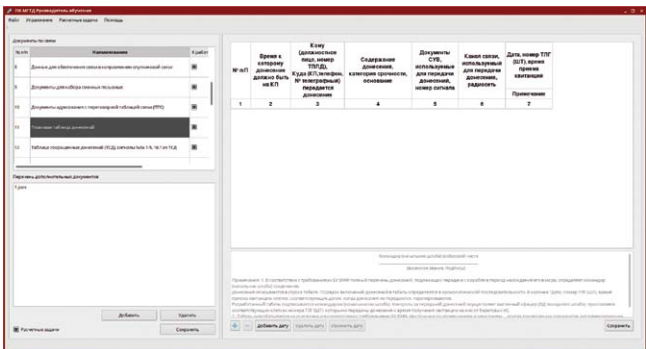
- журнал учета событий дежурного по связи;
- аппаратные, вахтенные, технические журналы;



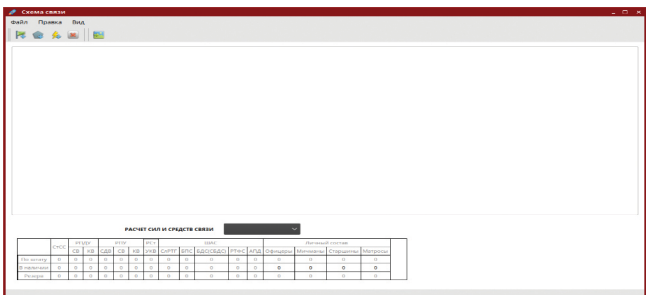
– распоряжения по связи;



– плановая таблица донесений;



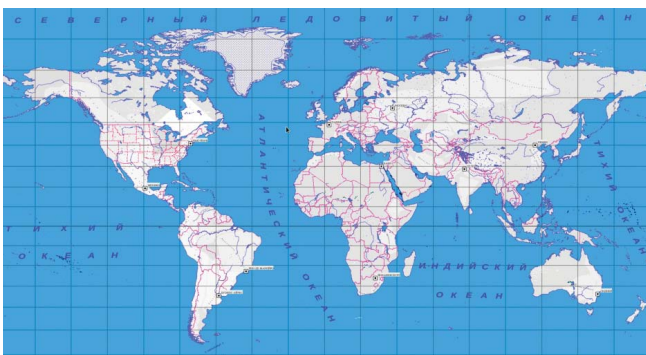
– схема связи с таблицей расчета сил и средств боевой части связи;



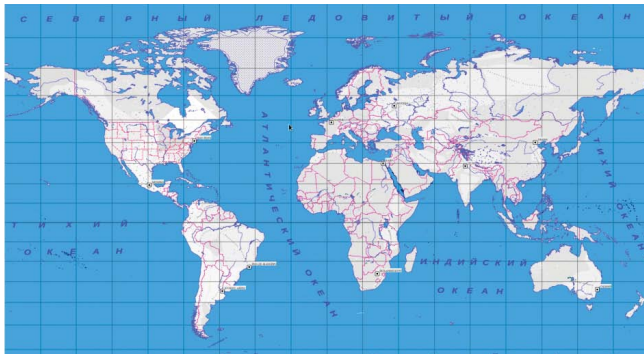
– отчет командира боевой части связи за поход (в том числе сигналы № 1–5, 16.1 из ТСД);



– планшет текущей частотной обстановки;
– рабочие карты флагманского связиста и дежурного по связи;



– карта систем береговых постов наблюдения (РТВ и РТР);



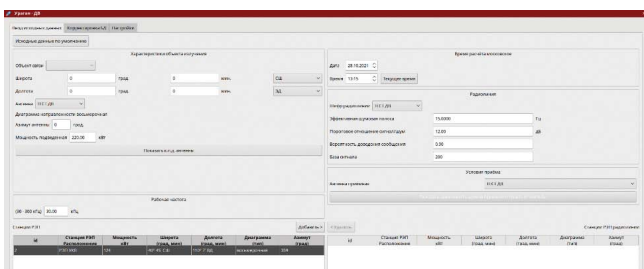
– данные для обеспечения связи в направлениях спутниковой связи и др.

Дополнительно ПК МГТД позволяет выполнить:

- расчет энергетических характеристик радиолиний ВМФ для СДВ-, ДВ-, СВ-, КВ-, УКВ-диапазонов радиоволн, а также спутниковой связи;
- расчет вероятностно-временных характеристик доведения сообщений в радиолиниях с учетом данных по помехоустойчивости радиоканалов ВМФ;
- отобразить зоны покрытия связью, в том числе с учетом радиоэлектронного подавления, на цифровой карте;
- сохранить результаты расчетов в БД.

Пункт меню «Расчетные задачи» предназначен для расчета энергетических характеристик радиолиний ВМФ для УКВ-, КВ-, СВ-, ДВ-, СДВ-диапазонов радиоволн и спутниковой связи с отображением зоны покрытия связью на цифровой карте мира, а также расчета вероятностно-временных характеристик в радиолиниях ВМФ.

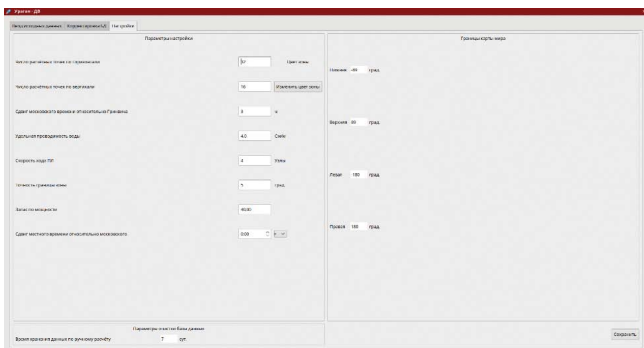
При решении расчетных задач в соответствующие формы вводятся необходимые исходные данные, актуализируются

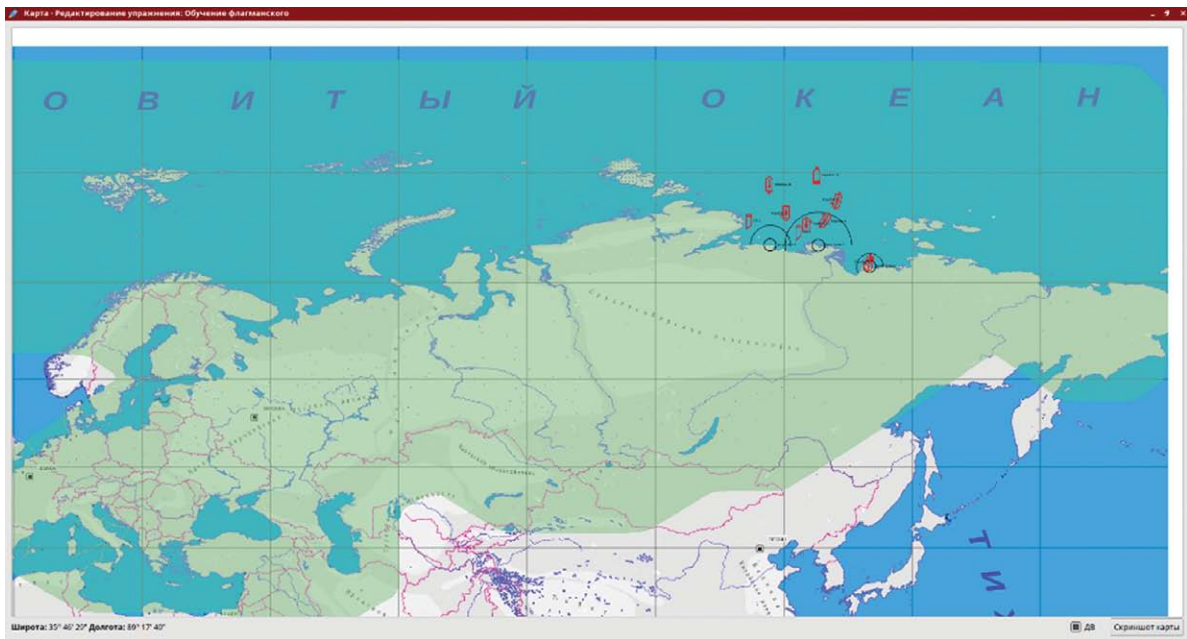


данные, хранящихся в БД ПК МГТД, такие как:

- физические параметры антенны;
- характеристики объекта;
- параметры радиолиний;
- характеристики станций РЭП;
- приемный тракт;
- результаты расчета.

Вводятся настроечные данные, необходимые для работы с цифровой картой мира при расчете и отображении зон радиопокрытия, а также установки параметров времени и точности прогнозирования физических величин.





В результате расчетов на цифровой карте мира появляется графическое отображение зоны покрытия связью с указанием внизу экрана диапазона радиоволн, в которых был проведен расчет.

Дополнительно могут быть рассчитаны вероятностно-временные характеристики передачи сообщений в выбранном диапазоне радиоволн.

Применение в настоящее время в процессе боевой подготовки перспективных учебно-тренировочных средств – одна из главных задач повышения уровня навыков специалистов связи флота в кратчайшие сроки, в том числе при ведении боевых действий.

Внедрение ПК МГТД в процесс боевой подготовки специалистов в составе УТКС – командиров, флагманских связистов соединений и личного состава боевых частей связи НК – к эксплуатации современных комплексов и средств связи, их организации и боевому использованию в значительной мере позволит:

- повысить оперативность действий должностных лиц при планировании и организации связи, мероприятий боевой подготовки, организации контроля подготовки флотских связистов различного уровня;

- усвоить необходимые для осуществления профессиональной деятельности знания об устройствах, принципах действия и правилах эксплуатации штатных технических средств связи, повысить эффективность процесса подготовки подразделений и уровень подготовки специалистов связи;
- усвоить функциональные обязанности специалистов связи, способы их исполнения и необходимые меры безопасности;
- сформировать умения и навыки эксплуатации техники связи в различных условиях, включая боевые действия;
- отработать взаимодействие и взаимозаменяемость выполняющих различные функциональные обязанности специалистов связи внутри экипажа;
- подготовить специалистов к решению нестандартных профессиональных задач (принятию и реализации адекватного решения в нестандартных условиях);
- сократить ресурс денежных и материальных средств, выделяемых на организацию подготовки специалистов связи флота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Серков В.П., Слюсарев П.В. Теория электромагнитного поля и распространение радиоволн. – Часть 2-я: Распространение радиоволн. – Л.: Военная ордена Ленина Краснознаменная академия связи им. С.М. Будённого, 1973. – 255 с.
2. Серков В.П. Вопросы расчета и проектирования антенн и радиолиний. Технические и научно-методические материалы. – Л.: Военная ордена Ленина Краснознаменная академия связи им. С.М. Будённого, 1989. – 32 с.
3. Давыденко Ю.И., Нечаев Н.Т. Особенности распространения метровых радиоволн. – М.: Воентиз, 1960. – 171 с.
4. Бекетов В.И., Булатов Н.Д., Кулаков В.Т., Уланова Р.А. Определение рабочих частот и выбор антенных устройств для коротковолновой радиосвязи. – М.: Воентиз, 1959. – 287 с.
5. Гель В.Э., Трифонов С.В. Методы расчета трасс радиосвязи. Компьютерная методология: Монография. – ВАС им. С.М. Будённого. – 2006. – 203 с.
6. Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2–30 МГц «Трасса». – Ч.1–2) // Техника радиосвязи. – 2013. – № 1(19). – С. 25–34. ■

Надежность связи с глубоко погруженными подводными лодками (ПЛ) может быть обеспечена за счет применения лазерного канала связи. Это позволит передавать на ПЛ, находящиеся на глубине 100 м, большой объем информации с высокой скоростью. При этом не потребуются применение других средств связи, так как системы лазерной спутниковой связи смогут обеспечить оперативно-тактическое и стратегическое управление силами [1].

В целом полученные в ходе анализа данные определенного уровня и тенденции развития элементной базы и средств позволяют прогнозировать высокие характеристики каналов связи в диапазоне КНЧ, лазерных, сейсмических и гидроакустических линий связи.

Основными направлениями исследований в последние годы является достижение больших дальностей связи с глубоко погруженными ПЛ, сокращение времени передачи информации и массогабаритных характеристик технических средств связи, повышение уровня автоматизации процессов связи с одновременным достижением высокой технической надежности.

Известно, что для связи с ПЛ в любое время и на глубинах, обеспечивающих скрытность их действий, можно использовать диапазон СНЧ (0–3000 Гц), радиоволны которого обладают незначительным коэффициентом затухания при проникновении в водную среду (до 0,1 дБ/м) и повышенной устойчивостью к излучениям от ядерных взрывов. При использовании достаточно мощного передатчика радиоволны СНЧ распространяются на расстояния более 10 тыс. км и проникают в воду на глубину до 100 м. Однако такая система будет иметь чрезвычайно высокую стоимость.

Для лазерной связи наиболее оптимальным участком светового диапазона является сине-зеленый (0,42–0,53 мкм) спектр, при работе в котором связь в водной среде может осуществляться с наименьшими потерями на глубине до 300 м. Однако создание лазерной связи сопряжено с рядом технических трудностей. В настоящее время ведутся эксперименты с лазерами, при этом рассматриваются три основных варианта их применения.

Для первого варианта требуются пассивный спутник–ретранслятор, оснащенный крупноразмерным отражателем-рефлектором (диаметр – до 7 м, масса – около 0,5 т) и мощный наземный лазерный передатчик. Для *второго* – на спутнике необходимо иметь достаточно мощное передающее устройство и на несколько порядков более сильную по мощности энергетическую установку. В обоих вариантах надежность связи должна обеспечиваться с помощью высокоточной системы наведения и сопровождения объекта связи лазерным

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПТИЧЕСКОГО КАНАЛА СВЯЗИ С ПОДВОДНОЙ ЛОДКОЙ ЗА СЧЕТ ЛУЧШЕГО ПРОХОЖДЕНИЯ ЕГО ЧЕРЕЗ ОСЛАБЛЯЮЩИЕ УЧАСТКИ ТРАССЫ

А.А. Катанович, *д-р техн. наук, проф., заслуженный деятель науки РФ, гл. науч. сотрудник НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова», контакт. тел. +7 (921) 318 4607*

лучом. Третий вариант предусматривает создание лазерного луча с помощью линз и зеркал, концентрирующих солнечную энергию. Благодаря существующему уровню техники, по мнению зарубежных специалистов, можно в первом варианте реализовать лазер мощностью 400 Вт с частотой повторения импульсов до 100 Гц, а во втором – разместить на орбите лазер мощностью 10 Вт с частотой повторения импульсов 18 Гц.

Необходимо создание перспективной глобальной сети высокоскоростной помехозащищенной оптической связи через высокоорбитальные космические аппараты (КА). Эта работа включает в себя три основных направления: связь с погруженными ПЛ, атмосферные оптические линии связи в тактическом звене взаимодействия и беспроводную подводную связь для обмена данными между подводными объектами и передачи телевизионных изображений.

Основная цель разработки и создания оптического канала связи «летательный аппарат–подводный объект ВМФ» состоит в построении комплекса технических средств для своевременной передачи сигналов управления и целеуказания через КА-ретрансляторы на погруженные подводные объекты.

Оптические каналы связи (ОКС) с погруженными ПЛ развиваются по двум основным направлениям – односторонний ОКС с ПЛ, предназначенный для своевременного доведения информации, и двусторонний ОКС для обмена данными между объектами.

Двусторонний ОКС позволяет осуществить высокоскоростной обмен данными, передавать на ПЛ целеуказания, навигационную информацию и получать от ПЛ квитанцию и различные сообщения без всплытия ее на поверхность водоема и без использования буксируемых устройств, ограничивающих маневренность ПЛ [2].

Рассмотрим принципы построения двухстороннего ОКС для высокоскоростной передачи и приема данных, целеуказания и других сообщений на погруженную ПЛ с высокой скоростью передачи с использованием летательных (ЛА), в том числе космических. В этих ОКС для уточнения местоположения ПЛ

в квадрат неопределенности ее местоположения размером порядка 200–300 км предварительно передают малоинформативные имитозащищенные вызывные сигналы. Для этого используют высокочастотный импульсный лазер, передающий вызывные сигналы и сканирующий узким пучком по зоне неопределенности местоположения ПЛ. Фотоприемник ЛА, ожидая передачи ответных сигналов с ПЛ, имеет поле зрения, совпадающее с угловой шириной излучения лазера. На ПЛ, декодируя вызывные сигналы, излучают ответные сигналы, и устанавливается процесс связи. При этом взаимно отслеживается местоположение ПЛ и ЛА. Высокая скорость передачи сообщений из-под воды сохраняется лишь до тех пор, пока яркость узкого не рассеянного водой пучка более чем на порядок превышает яркость рассеянной составляющей, т. е. пока еще можно выделить направление на источник оптического излучения ЛА, чтобы в этом направлении переизлучить ответные сигналы с ПЛ. Построенной на основе расчета пространственно-угловой структуры лазерного пучка, прошедшего через толщу морской воды, показано, как меняется соотношение между мощностью нерассеянного и рассеянного излучения при возрастании глубины погружения ПЛ в морских водах средней прозрачности. С глубины 50 м еще можно выделить направление на ЛА, но уже на глубине 100 м величина узкой части диаграммы яркости принимаемого от ЛА излучения, позволяющей определить направление на ЛА, становится настолько мало, что определить точное направление на ЛА не представляется возможным.

Лазерные системы связи воздушного базирования могут быть установлены на всех самолетах противолодочной обороны наземного и палубного базирования, самолетах-ретрансляторах и воздушных командных пунктах. Для управления ПЛ, действующими в условиях быстро меняющейся тактической обстановки, требуется передача в их адрес данных в реальном масштабе времени. Такая передача осуществляется с использованием узкого лазерного луча с самолета на ПЛ.

Однако на надежность лазерной линии связи оказывает влияние облач-

ность, туман, осадки и некоторые другие факторы.

Для увеличения яркости светящейся зоны предлагалось после образования канала просветления соосно с лазерным лучом посылать второй узконаправленный пучок инфракрасного излучения, что позволяет повысить ее видимость и дальность обнаружения. [5]. Однако и эта система не может обеспечить прохождение сигнала по каналу связи через участки трассы, ослабляющие оптическое излучение.

Для увеличения дальности высокоскоростных открытых оптических каналов связи предлагается использовать лазерный луч, который должен состоять из импульсов длительностью не менее 1 нс, формирующихся из множества волн путем фазовой синхронизации и интерференции, а также в нелинейной среде за счет дисперсии скоростей волн различных частот, причем явления, обусловленные межмодовыми биениями, приводят к формированию импульсного излучения. При этом импульсы лазерного излучения длительностью 1 нс и менее формируются за счет синхронизации модовых составляющих и их когерентного взаимодействия на трассе распространения, а из множества непрерывных модовых составляющих формируются импульсно-периодические оптические импульсы, период следования которых определяется спектральным составом лазерного излучения, причем вид оптических импульсов, формируемых частотой $f_0 = 5,63762 \cdot 10^{14}$ Гц с межмодовым интервалом $\Delta f = 5$ МГц, частотой следования 5 МГц и полушириной $\Delta f = 20$ нс, используя частотную модуляцию (чирпирование), формируют импульсы с одинарным двойным периодом следования. Последовательность импульсов воспринимается фотоприемником как наличие (или отсутствие) в заданные моменты времени импульса излучения за счет чирпирования частоты спектра лазерного излучения формируют двоичный код для передачи информации.

Необходимо отметить, что в предлагаемом способе формирования наносекундных и более коротких импульсов имеется принципиальное отличие, связанное с использованием межмодовых биений. Эти биения представляют собой взаимодействие (интерференционный эффект) смежных на межмодовой интервал спектральных составляющих излучения [5].

Рассмотрим передачу информационного сигнала с помощью интерференционного потока. Интерференционный поток двух потоков электромагнитных волн осциллирует в направлении их распространения. В интерференционном поле, сформированном в ослабляющей среде, потери энергии оптического излучения происходят лишь в области светлых полос. Шаг интерференционной картины составляет $a = 2\pi|k|^{-2}$, а скорость перемещения

интерференционных полос $v = \Delta\omega|k|^{-2}$, $k = k_1 - k_2$ – величина векторная, где k_1 и k_2 – волновые векторы интерферирующих лучей. При этом максимумы интерференционной картины будут перемещаться с групповой скоростью [6].

Волновые векторы отдельных спектральных компонент параллельны. Поэтому для спектральных компонент (необходимо для формирования коротких импульсов) с межмодовым интервалом 10 МГц групповая скорость в воздухе вдали от линии поглощения совпадает с фазовой (скорость света).

Для двух интерферирующих волн огибающая суммарной волны описывается синусоидой, а при увеличении числа составляющих происходит локализация энергии волн в узкой области максимума интерференционной полосы.

Биение потоков излучений на разных частотах могут наблюдаться как в резонаторе лазера, так и на трассе распространения. Межмодовый интервал резонатора можно определить из соотношения

$$\Delta f = c(2L)^{-1},$$

где L – длина резонатора; c – скорость света.

Теоретическая полуширина линии генерации лазера в одночастотном режиме (ширина линии одной модовой составляющей) $\Delta\nu = 2\pi h\nu p^{-1}(\Delta\nu_p)^2$, где p – мощность лазера; $\Delta\nu_p = v/Q$ – полуширина полосы пропускания резонатора ($Q = \frac{2\pi L}{\lambda(1-r_1r_2)}$ – добротность резонатора; r_1, r_2 – коэффициенты отражения зеркал резонатора; λ – длина волны излучения).

Углы распространения поперечных мод составляют $Q_m = \sqrt{m^{\lambda/L}}$, где $m = 1, 2, 3, \dots$ – номер модовой составляющей. Поперечные моды, распространяющиеся под углом к оптической оси лазера, пройдя некоторое расстояние по открытым трассам, уходит из пучка. Для $L = 1,0$ м и длины волны излучения 0,8 мкм это расстояние равно менее 10 м, что подтверждает справедливость вывода о совпадении групповой скорости (скорости перемещения интерференционных полос) со скоростью света.

Выполним расчет. Электрическую составляющую световой волны (как и магнитную составляющую) можно представить в виде

$$E^i = E_0^i \cos(\omega_i l - k_i z + \phi_0^i), \quad (1)$$

где L – координата по направлению распространения излучения; $\omega_i = 2\pi f_i$.

При синхронизированной во времени генерации лазером одновременно N спектральных компонент (модовых составляющих) значение амплитуды в разных точках трассы могут быть определены путем сложения амплитуд отдельных компонент (с учетом знаков спектральных составляющих и ширины спектра каждой моды):

$$E = \sum_{i=1}^n E^i = \sum_{i=1}^n E_0^i \cos(\omega_i l - k_i z + \phi_0^i). \quad (2)$$

Как известно, мощность электромагнитного излучения вдоль трассы распространения в ослабляющей среде уменьшается по экспоненциальному закону (закон Бугера): $I = I_0 \exp(-\alpha z)$, где α – коэффициент ослабления.

Интенсивность излучения I пропорциональна квадрату амплитуды электрической составляющей электромагнитной волны:

$$I \sim \left(\sum_{i=1}^n E^i \right)^2 = \left(\sum_{i=1}^n E_0^i \cos(\omega_i t - k_i z) \right)^2. \quad (3)$$

При изучении возможности передачи сигнала через ослабляющие участки оптических каналов связи с использованием интерференционного потока были проведены расчеты коэффициентов пропускания для различных относительных положений ослабляющего участка и фазы коротких (10^{-9} с) периодических импульсов излучения (5 МГц). Для формирования периодических лазерных импульсов путем когерентного суммирования нескольких составляющих синхронизовать фазы отдельных спектральных компонент. Для простоты расчетов начальные фазы волн в формуле (2) принимались равными нулю.

Расчеты показали, что при интерференции 150 модовых составляющих амплитуда сигнала, прошедшего через участок длиной 66 м с коэффициентом ослабления $0,17 \text{ м}^{-1}$, составляет 98% от начальной величины. Интенсивность рассчитывали для моментов времени, отстоящих друг от друга на 10^{-13} с. Ослабляющий участок располагался в области преимущественно туннельной передачи энергии излучения симметрично относительно импульсов.

Проводимые расчеты заключаются в следующем: в начальной точке (с нулевой координатой) находили сумму амплитудных значений всех гармонических составляющих. Для остальных расчетных точек трассы оптического пучка интенсивность сигнала определялась путем сложения гармонических сигналов с учетом их знаков (значение косинуса) – векторное сложение. Для определения интенсивности излучения сумма возводилась в квадрат и умножалась на коэффициент $c/8\pi$, так как интенсивность света связана с комплексной амплитудой волны

$$I = \frac{c}{8\pi} |E|^2.$$

Расчет ослабления проводился двумя путями. В первом случае (скалярное некогерентное сложение волн) для определения суммарной начальной интенсивности все спектральные составляющие складывались по интенсивности (квадраты амплитуд). Полученную величину умножали на коэффициент $c/8\pi$. По закону Бугера определялась интенсивность суммарной волны после ослабляющего слоя. Без ослабляющего участка интенсивность излу-

чения некогерентного пучка оставалась постоянной по всей длине трассы его распространения.

Для пучка из когерентных составляющих в каждой точке трассы производилось векторное суммирование волн на разных длинах волн. Для ослабляющего участка по закону Бугера определялось изменение эффективного значения интенсивности каждой гармонической составляющей между двумя расчетными точками с учетом отношения величин суммарной интенсивности в текущей точке к интенсивности некогерентного пучка. На следующем расчетном участке значение амплитуд напряженностей электрического поля отдельных волн были заменены их уменьшенными значениями на конце предыдущего участка, определяемого из выражения

$$E_0^{\text{вх}}(i) = E_0^{\text{вх}} \sqrt{1 - \delta I_0 [1 - \exp(-\alpha \Delta l)]},$$

где α – коэффициент ослабления; Δl – длина расчетного участка; δI_0 – коэффициент, определяющий величину изменения интенсивности когерентного излучения относительно некогерентного на расчетном участке за счет интерференционного потока.

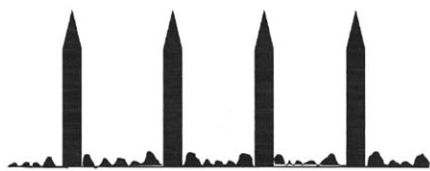


Рис. 1. Общий вид спектральных импульсов

Как видно из рис. 1, между двумя максимумами наблюдаются незначительные спадающие всплески интенсивности. Область минимальных значений дополнительных импульсов находится посередине между двумя импульсами. Поскольку рассчитывался коэффициент прохождения через ослабляющий участок трассы, расположенный симметрично относительно середины между импульсами, что обеспечивает наилучшие условия прохождения потока оптического излучения (минимальное ослабление).

Зависимость коэффициента пропускания ослабляющего участка от спектрального состава для различных значений оптической плотности показана на рис. 2. Видно, что при увеличении числа спектральных составляющих, независимо от оптической плотности ослабляющего участка, наблюдается увеличение коэффициента пропускания потока лазерного излучения. При сдвиге составляющих 5 МГц период биения между различными спектральными составляющими излучения с центральной частотой $f_0 = 5,637362 \cdot 10^{14}$ Гц равен 60,81 м. Коэффициент прохождения лазерного излучения через ослабляющий слой рассчитан для участка длиной 53,38 м, расположен-

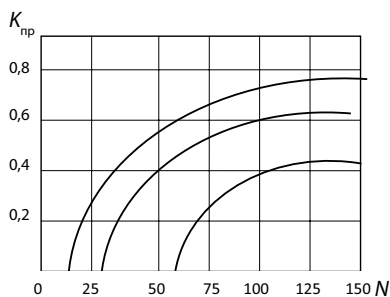


Рис. 2. График зависимости коэффициента пропускания ослабляющего участка от спектрального состава для различных значений оптической плотности

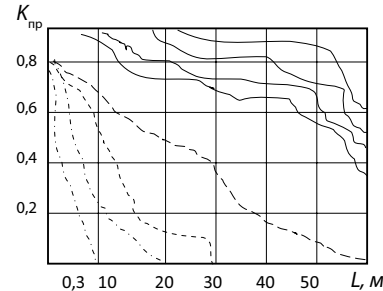


Рис. 3. График зависимости коэффициента прохождения лазерного и некогерентного излучений через ослабляющий участок от его длины

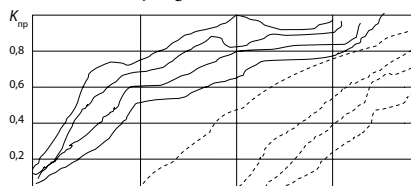


Рис. 4. График зависимости коэффициента прохождения через ослабляющий слой лазерного и некогерентного излучений от спектрального состава

ного симметрично между интерференционными максимумами.

Для сравнения с полученными результатами был рассчитан коэффициент прохождения потока некогерентного излучения, имеющего тот же спектральный состав, что и когерентный пучок. Зависимость коэффициента прохождения лазерного и некогерентного излучений через ослабляющий участок от его длины показан на рис. 3. При этом коэффициент пропускания для участка с коэффициентом ослабления $0,05 \text{ м}^{-1}$ составляет $0,056$; для участка с $0,15 \text{ м}^{-1} - 1,78 \cdot 10^{-4}$; для ослабляющего слоя с $0,3 \text{ м}^{-1}$ и более – практически равен нулю (менее 10^{-7}). Таким образом, когерентный пучок (сплошные линии на рисунках) проходит через ослабляющий слой с гораздо меньшими потерями, чем некогерентный (пунктирные линии).

На рис. 4 приведены графики зависимостей коэффициента прохождения через ослабляющий слой лазерного (сплошные линии) и некогерентного (пунктирные линии) излучений от спектрального состава. Расчеты показывают, что когерентный пучок распространяет-

ся по ослабляющим трассам с гораздо меньшими потерями, чем некогерентный. Изменения спектрального состава (частоты сдвига соседних компонент Δf) при этом сказывается незначительно. Данные рассчитывались для ослабляющего слоя, расположенного симметрично и занимающего 96% расстояния между максимумами интерференции, при изменении величины спектрального сдвига между компонентами.

Данные, приведенные на рис. 3 и рис. 4, рассчитаны для $N = 120$ составляющих. Интенсивность некогерентного пучка уменьшается в ослабляющем слое по экспоненциальному закону ($\Delta f = 5 \text{ МГц}$). При малых значениях отношения длины ослабляющего участка к расстоянию между максимумами интерференции ($\Delta l = 5 \text{ м}$) влияние ослабляющего слоя незначительно. При совмещении области максимума интерференции с ослабляющим слоем потери излучения возрастают.

Уменьшение коэффициента пропускания слоя при уменьшении величины сдвига спектральных компонент происходит из-за увеличения расстояния между максимумами интенсивности. При этом синхронно увеличивается длина ослабляющего слоя, учитываемого при расчетах. Графики на рис. 4, позволяют оценить соотношение коэффициентов когерентного и некогерентного пучков различного спектрального состава с предельной для когерентного пучка длиной ослабляющего слоя.

Таким образом, приведенные расчеты свидетельствуют о существовании принципиальной возможности передачи потока когерентного оптического излучения через ослабляющие участки (дождь, туман, облачность и т.п.) открытых атмосферных трасс с использованием интерференционного потока. При этом становится возможной передача оптического излучения на большие расстояния по открытым атмосферным каналам связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Катанович А.А. Совершенствование элементов системы связи ВМФ на основе новых технологий. – СПб.: Морская энциклопедия, 2023. – 360 с.
2. Катанович А.А. и др. Исторический очерк. 1932–2012. – СПб.: Судостроение, 2012. – 204 с.
3. Авт. св. СССР № 527729, 1976 г.
4. Катенин В.А. и др. К вопросу об использовании лазеров космического базирования для подводной навигации // Военная мысль. – 2010. – Вып. 2.
5. Карпов А.В., Катанович А.А. Основы построения системы связи подводных лодок. – СПб.: Морская энциклопедия, 2022. – 268 с.
6. Катанович А.А. Способ увеличения дальности открытых оптических каналов связи с ПО. – Патент РФ № 2538449 от 10.01.2015 г. ■

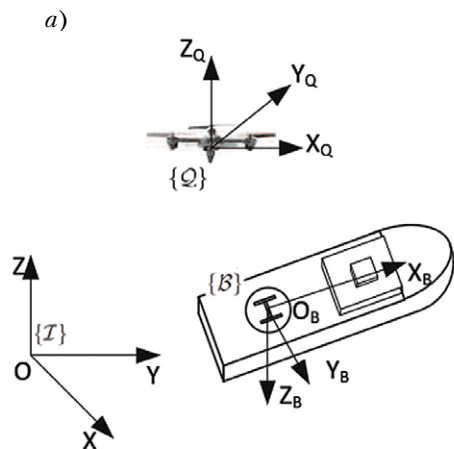
Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) широко применяются для наблюдения за окружающей средой и проведением разведки нефти и газа на шельфе, инспекции ветряных электростанций, картографирования и т. п. Например, БПЛА были применены для повышения эффективности контроля целостности объекта, мониторинга загрязнения территории, а также инспекции трубопровода в районах добычи нефти и газа. Дроном часто управляют дистанционно профессиональные операторы с платформы или катера. Однако реализовать его плавную и безопасную посадку на движущуюся платформу довольно сложно, тем не менее специальных исследований автоматической посадки дрона на движущуюся платформу почти не проводится [1–3].

В статье рассматривается проблема управления зависанием БПЛА над движущейся платформой в условиях волнения. Цель управления состоит в том, чтобы отслеживать траекторию движущейся палубы, добиваясь наилучшего соответствия положения при одновременном соблюдении ограничений функциональной управляемости. Для контроля внутреннего контура применяется гибридный контроллер, чтобы избежать разворачивающегося явления.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Для описания движения беспилотника и подвижной платформы, как показано на рис. 1, а, построены три системы отсчета: инерциальная {I}, закрепленная на поверхности земли, и неподвижная – рама платформы {B}, прикрепленная к поверхности палубы, а рамка хвостового корпуса {Q} прикреплена к гравитационному центру дрона (рис. 1).

Дрон описывается следующей динамической моделью [2–5]:



КОНТРОЛЬ ЗАВИСАНИЯ БПЛА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ПОСАДКИ НА ПЕРЕДВИЖНУЮ ПЛАТФОРМУ КОРАБЛЯ

А.А. Силкин, канд. техн. наук, гл. конструктор ООО «НПКЦ «НОВИК-91», СПбГМТУ,

Е.Р. Романов, курсант ГУМРФ им. С.О. Макарова,

М.В. Чупаков, канд. техн. наук, начальник лаборатории ЧВВМУ им. П.С. Нахимова,

В.А. Кучеренко, аспирант КГМТУ,

silkina-a-a@yandex.ru, eugeneromanov21@yandex.ru, maxim.vor2012@yandex.ru, vlad.kucherenko1@mail.ru

$$p = v;$$

$$Mv = -u_j Re_3 + Mge_3 + d_j; \tag{1}$$

$$R = RS(\omega);$$

$$Jw = S(J\omega)w + u_\tau + d_\tau,$$

где $p = [x, y, z]^T \in R_3$ и $v = [vx, vy, vz]^T \in R_3$ – положение центра тяжести дрона и его скорость в инерциальной системе отсчета {I}; $u_j \in Re$ – это масштабная переходная контрольная сила, $g = 9,8$ – ускорение свободного падения, $e_3 = [0, 0, 1]^T$, $S(\cdot) \in R^{3 \times 3}$ – это симметрическая матрица, обозначающая вектор $x [x_1, x_2, x_3]^T \in R^3$:

$$S(x) = \begin{bmatrix} 0 & -x_3 & x_2 \\ x_3 & 0 & -x_1 \\ -x_2 & x_1 & 0 \end{bmatrix}. \tag{2}$$

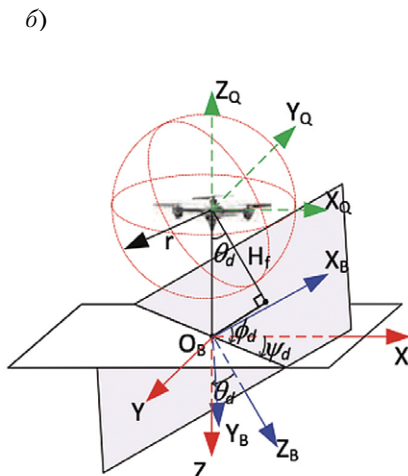
Матрицу вращения от {Q} до {I} обозначим $R \in SO(3)$, где $SO(3)$ – специальная ортогональная группа третьего порядка:

$$SO(3) = \{R \in R^{3 \times 3} : R^T R = RR^T = I_3, |R| = 1\}. \tag{3}$$

Элемент $SO(3)$ может быть параметризованной единицей кватерниона q через формулу Родригеса:

$$R(q) = I_3 + 2\eta S(\varepsilon) + 2S(\varepsilon)^2,$$

где $\eta \in R$ и $\varepsilon \in R^3$ – скалярные и век-



торные компоненты единицы кватерниона q .

Кинематическое уравнение представим в виде

$$q = \frac{1}{2} q \otimes v(\omega) = \frac{1}{2} [-\varepsilon^T \eta I_3 + S(\varepsilon)] \omega, \tag{4}$$

где $v(\omega) = [0 \cdot \omega^T]^T$ и \otimes – оператор между двумя кватернионами $q = [\eta, \varepsilon_i^T]^T$ при $i = 1, 2$, которые определяются следующим образом:

$$q_1 \otimes q_2 = [\eta_1 - \varepsilon_1^T \varepsilon_2, \eta_1 \varepsilon_2 + S(\varepsilon_1)] [\eta_2, \varepsilon_2].$$

ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрим наведение управления беспилотника над платформой движущейся палубы корабля. Предполагаем, что желаемая траектория и ориентация палубы определяются нелинейными функциями $[x_p, y_p, z_p]^T \in R^3$ и $\gamma d(t) = [\varphi_p, \theta_p, \psi_p]^T \in R^3$ относительно времени t , где $p d(t)$ и $\gamma d(t)$ являются четвертыми непрерывными дифференцируемыми. Таким образом, можем определить скорость и угловую скорость палубы как $v_d(t) = \dot{p}_d$ and $\omega_d(t) = \dot{\gamma}_d$, соответственно.

Управление наведением направлено на отслеживание положения движущейся палубы и поддержание постоянного высотного расстояния до палубы. Этот процесс очень важен для безопасной посадки беспилотника на движущуюся палубу. Наиболее желательный контроль заключается в том, чтобы управляемый дрон мог отслеживать палубу, сохраняя при этом такое же положение, как и на палубе. Поскольку дрон летит по желаемой траектории p_d , его желаемое отношение R должно удовлетворять следующим функциональным ограничениям управляемости, игнорируя возмущение d_j :

$$R \cdot e_3 = \frac{Mge_3 - M\dot{p}_d}{u_j}. \tag{5}$$

Для того чтобы сделать посадку дрона плавным, определяется функция опускания $H(t)$. Удобно, чтобы она была гладкой сигмовидной функцией. Обозначим $H_0 = H(t_0)$ начальную высоту, а

Рис. 1. К рассмотрению проблемы зависания дрона: а – зависание над судном, б – позиционирование в системе стабилизации

$H_f = H(\infty)$ – конечную высоту дрона в качении палубы, как показано на рис. 1, б. Отмечается, что для сохранения высоты H_f , желаемое положение z^* беспилотника в инерционной системе необходимо следовать траектории, описываемой формулой

$$z^* = \frac{H_f}{\cos(\theta_d)} + z_d. \quad (6)$$

Таким образом, проблема управления зависанием может быть решена, если дрон может отслеживать нужную траекторию $p^*_{d^*}$ описанную как

$$\dot{p}_d = p_d + H(t)e_3 + \frac{H_f e_3}{\cos(\theta_d)}. \quad (7)$$

сохраняя отношение, удовлетворяющее константе (5).

ПОЛЕТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР И РЕГУЛЯТОР ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

В этом разделе будет представлена стратегия управления внутренним внешним контуром для проектирования регулятора зависания. Структура элемента управления внутренней внешней петлей показана на рис. 2.

«Наблюдатель» с высоким усилением. «Наблюдатель» с высокой чувствительностью вводится в управление внешним контуром, потому что измерение скорости и ускорения может быть недоступно для некоторых недорогих дронов, но применимо для БПЛА вертикального взлета и посадки.

Рассмотрим систему с ограниченным выходом $y(t) \in Rm$ и его первой производной n 1, т. е. признаем существование константы $Y_k, k = 1, \dots, n - 1$, такой как $\|y(k)\| < Y_k$. При наличии системы слежения с высоким усилением [3–6]

$$\begin{cases} \delta \dot{\xi}_i = \xi_{i+1}, & i = 1, \dots, n-1 \\ \delta \dot{\xi}_n = -\lambda_1 \xi_n - \lambda_2 \xi_{n-1} - \dots - \lambda_{n-1} \xi_2 - \xi_1 + y(t). \end{cases} \quad (8)$$

Здесь δ – любая малая положительная константа; $\xi_i, i = 1, \dots, n$ и $\lambda_i, i = 1, \dots, n - 1$, будучи выбраны таким образом, чтобы многочлен $s_n + \lambda_{n-1}s^{n-1} + \dots + \lambda_1 s + 1$ являлся многочленом Гурвица, т. е.

$$\frac{\xi_{k+1}}{\delta^k} - y^{(k)} = -\delta \psi^{(k+1)}, k = 0, 1, \dots, n-1,$$

где $\psi = \xi_n + \lambda_1 \xi_{n-1} + \dots + \lambda_{n-1} \xi_1$.

Конструкция системы слежения с высоким коэффициентом усиления описывается следующим образом:

$$\begin{cases} \delta \dot{\pi}_1 = \pi_2; \\ \delta \dot{\pi}_2 = -\lambda_1 \pi_2 - \pi_1 + p, \end{cases} \quad (9)$$

где $\pi_1, \pi_2 \in R^3$ – члены-наблюдатели.

Выберем λ_1 таким образом, чтобы сумма $s^2 + \lambda_1 s + 1$ представляла собой многочлен Гурвица. Оценку положения и скорости дрона можно описать как

$$\dot{p} = \pi_1; \quad (10)$$

$$\hat{v} = \frac{\pi_2}{\delta}, \quad (11)$$

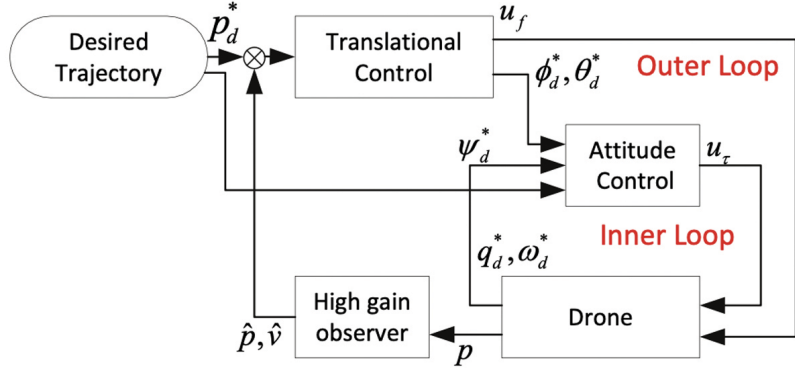


Рис. 2. Структура управления внутренним/внешним контуром

а константы b_1 и b_2 :

$$\|p - \hat{p}\| \leq \delta b_1; \quad (12)$$

$$\|v - \hat{v}\| \leq \delta b_2. \quad (13)$$

Контроль ориентации. Чтобы удовлетворить условию $\|\chi(R, R_c^*)\|_\infty \leq \chi^*$, предстоит разработать регулятор ориентации, позволяющий R отслеживать R_c^* . Отметим, что матрица возвращения R_c^* является отображением $[\varphi_c^0, \theta_c^0, \psi_c^0]^T \rightarrow R_c^*$ и имеет взаимосвязь, описанную в XYZ. Следовательно, можем зафиксировать θ_c^0 и ψ_c^0 . Значение Ψ_c^0 может быть выбрано случайным образом; для наилучшего сопряжения с палубой третий угол Эйлера нужного положения фиксируется как $\psi_c^0 = \psi_d$. Таким образом определяются требуемое положение дрона. Кватернион q_c^0 , соответствующий R_c^* , может быть получен на основе кватернионов алгебры. Требуемая угловая скорость ω_c^0 , соответствующая R_c^* , вычисляется по формуле [2–5]:

$$\omega_c^0 = \mathbf{G} R_c^{*T} \dot{R}_c^* e_3 + \dot{\psi}_d e_3,$$

где \mathbf{G} – матрица с 1, 2, 3 строками $[0, -1, 0], [1, 0, 0], [0, 0, 0]$ соответственно, $\dot{\psi}_d$ – угловая скорость палубы при рыскании.

Определим квантовую ошибку q и ошибку угловой скорости $\tilde{\omega}$:

$$\tilde{q} = q_c^{*-1} \otimes q; \quad (14)$$

$$\tilde{\omega}_c = \omega - \tilde{\omega}_c, \quad (15)$$

где $\tilde{\omega}_c = R(\tilde{q})\omega_c^0$.

Тогда система ошибок может быть записана как

$$\begin{cases} \dot{\tilde{q}} = \frac{1}{2} \tilde{q} \otimes \begin{bmatrix} 0 \\ \tilde{\omega}_c \end{bmatrix}; \\ J \dot{\tilde{\omega}}_c = \wedge(\tilde{\omega}_c, \tilde{\omega}_c) \tilde{\omega}_c + S(J \tilde{\omega}_c) \tilde{\omega}_c - \\ - J R(\tilde{q})^T \dot{\omega}_c + u_\tau + d_\tau, \end{cases} \quad (16)$$

где

$$\wedge(\tilde{\omega}_c, \tilde{\omega}_c) = S(J \tilde{\omega}_c) + S(J \tilde{\omega}_c) - S(\tilde{\omega}_c) - JS(\tilde{\omega}_c).$$

Замечание: $\tilde{q} = [\pm 1, 0, 0, 0]^T$ являются обоими равновесиями первого уравнения (16), потому что $\tilde{q} = [\pm 1, 0, 0, 0]^T$ обозначает то же самое в 3D пространстве [2, 4, 6].

ПРАКТИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ НА БАЗЕ ООО «НПКЦ «НОВИК-91»

Приведем цифровой пример для проверки эффективности предлагаемого решения по контролю БПЛА (рис. 3–5).

Динамическая модель дрона задана (1) с такими его системными параметрами: $M = 3,25 \text{ кг}$, $J = \text{diag}(0,032, 0,032, 0,164)$, d и dt – гауссовский белый шум с максимальной амплитудой $1,5N$ и $0,05Nm$ соответственно.

Теперь определим необходимую траекторию положения p_d по (7)

$$H(t) = H_0 + \frac{H_f - H_0}{1 + e^{-\frac{-6(2t-10)}{10}}}, \quad (19)$$

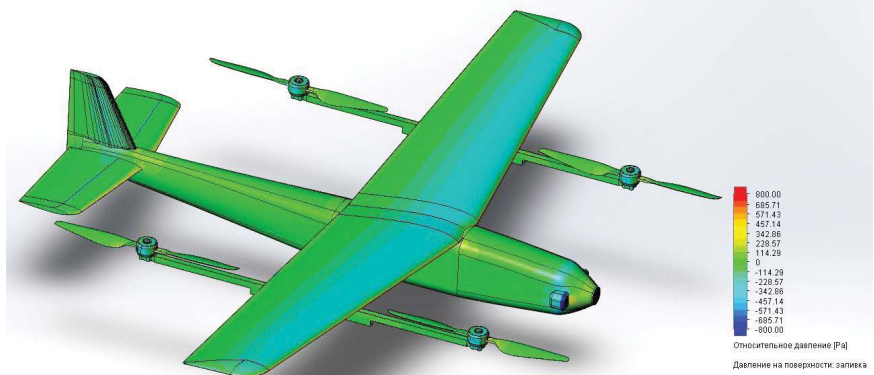


Рис. 3. Значения давления на поверхности БПЛА [7–8]

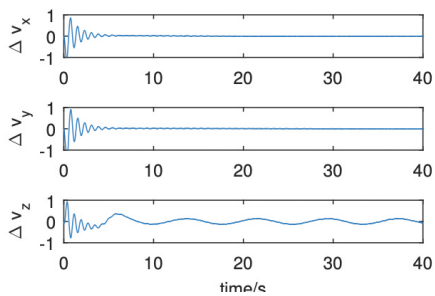


Рис. 4. Ошибка оценки скорости системы отслеживания с высоким коэффициентом усиления

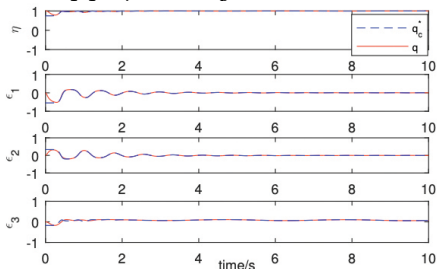


Рис. 5. Ориентационная траектория дрона

где начальная высота H_0 беспилотника определяется его начальным положением по оси Z . Дрон должен зависнуть на высоте $H_f = 1$ м над палубой.

Траектория вертикального взлета БПЛА «Археон» с палубы корабля и заход на борт отображены на рис. 6 и рис. 7.

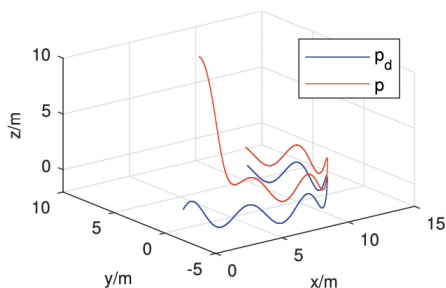


Рис. 6. Траектория движения дрона в 3D

ВЫВОДЫ

«Наблюдатель» с высоким коэффициентом усиления, предназначенный для оценки положения и скорости дрона, позволяет проектировать встроенную систему управления насыщением, которая предназначена для отслеживания траектории подвижной палубы и сохранения фиксированного расстояния подъема над ней. Гибридное управление применяется для того, чтобы ориентация дрона наилучшим образом соответствовала положению палубы, удовлетво-

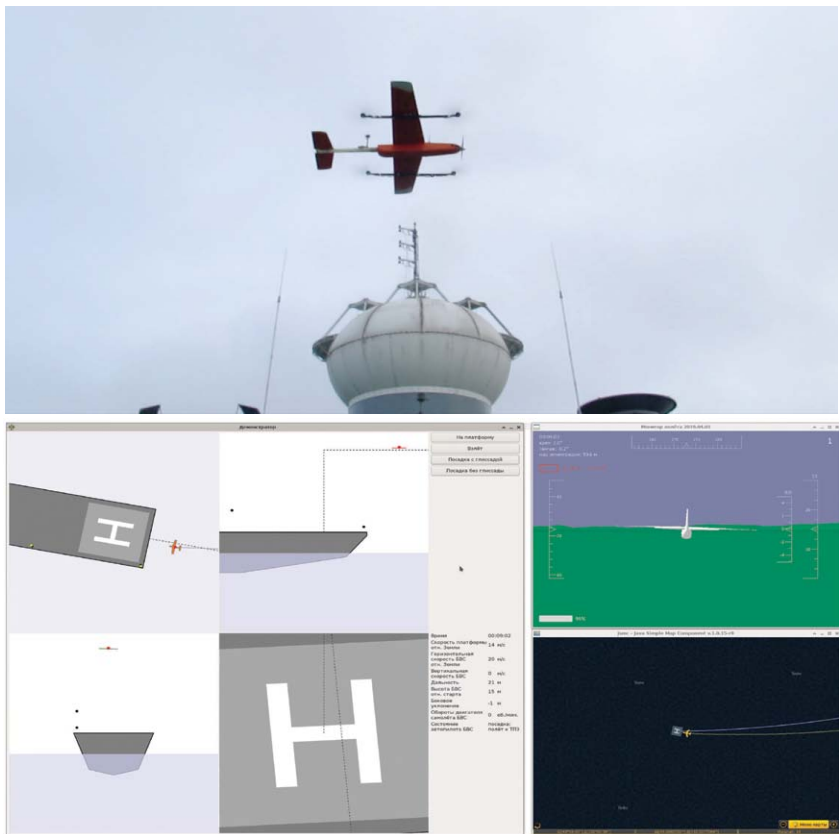


Рис. 7. Заход БПЛА на борт корабля

ря функциональное ограничение его управляемости. Теоретически доказана стабильность всей системы замкнутого цикла. В будущем было бы интересно дополнительно изучить визуальный контроль посадки беспилотника на движущуюся палубу при различных волнениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каляев А.И., Коровин Я.С. Комплекс обнаружения и поражения БПЛА-нарушителей с помощью БПЛА-перехватчиков // Вопросы оборонной техники. – Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму. – 2021. – № 3–4 (153–154). – С. 101–107. – EDN GMUUD.
2. Аблец А.А., Стребков А.Н., Завгородняя Е.В. Опыт создания роя БПЛА в вооруженных силах иностранных государств // Военная мысль. – 2022. – № 6. – С. 137–146. – EDN ISYTIR.
3. Пенской И.С. Рогозин О.В. Нейро-нечеткий ПИД-регулятор в задаче угловой стабилизации мультироторного БПЛА // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2018. – № 21. – С. 320–327. – EDN XNRSJV.
4. Балашенко И. Н., Горьяна Н. А., Гунько А.С., Никонов В. И. Актуальные вопросы управления группой БПЛА // Динамика систем, механизмов и машин. –

2022. – Т. 10. – № 1. – С. 14–17. – DOI 10.25206/2310-9793-2022-10-1-14-17. – EDN XHENPM.

5. Подоплекин Ю.Ф., Толмачев С.Г., Шаров С.Н. Информационно-управляющая система приведения беспилотных летательных аппаратов на движущееся судно // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 3(58). – С. 22–28. – EDN OYIGWZ.
6. Подоплекин Ю.Ф., Бредун И.Л. Управление летательным аппаратом по электронной карте местности / Ю. Ф. Подоплекин // Изв. Российской академии ракетных и артиллерийских наук. – 2009. – № 4(62). – С. 37–44. – EDN MCAGXL.
7. Ивановский А.Н., Черный С.Г. Системы компьютерного зрения для автоматизации технологических процессов морской отрасли // Автоматизация в промышленности. – 2022. – № 12. – С. 37–39. – DOI 10.25728/avtprom.2022.12.08. – EDN JLRLGH.
8. Силкин А.А., Ивановский А.Н., Черный С.Г. Автоматизированная система управления БПЛА в пределах локальной системы позиционирования // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Робототехника». – Сб. ст. IV Всеросс. науч.-техн. конф., Анапа, 20–21 июля 2022 г. – Анапа: ФГАУ «Военный инновационный технополис «ЭРА», 2022, с. 224–235. – EDN WTLPIU. ■

Требования, предъявляемые к сети электросвязи, сводятся к обеспечению высококачественной передачи, распределению, хранению и преобразованию разнородной и разноскоростной информации, высокой степени гибкости ее развития, возможности объединения и разделения ресурсов. Основу современных сетей электросвязи составляет различное сетевое оборудование (СО), выполняющее функции распределения информации и предоставляющее пользователям различные услуги. Данное оборудование позволяет адаптироваться к возникающим новым требованиям в отношении видов связи, новым телекоммуникационным технологиям и к новой технике, осуществлять гибкое развитие сети в будущем.

Значения параметров качества обслуживания различных источников информации также значительно различаются между собой. Использование определенных технологических алгоритмов функционирования СО, способов и методов распределения различного сетевого ресурса позволит выровнять качество обслуживания пользователей, повысить пропускную способность сети электросвязи.

Анализ особенностей функционирования СО, обслуживания и распределения различных потоков информации показывает их тесную взаимосвязь (рис. 1).

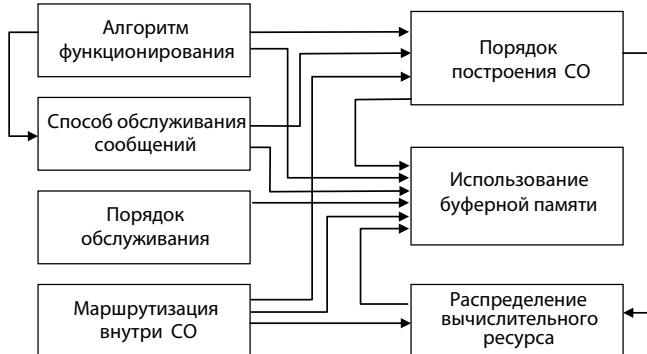


Рис. 1. Взаимосвязь алгоритмов распределения и обслуживания цифровых потоков информации

Из проведенного анализа следует, что любой из представленных алгоритмов предполагает применение буфера в различных точках СО – на входе, выходе, во время обработки информационных блоков (ИБл) для того, чтобы их запоздать для передачи в свободный временной интервал или ожидать доступности исходящего звена при большинстве дисциплин обслуживания. В ряде работ [1–3] показано, что правильное использование буферной памяти (БП) позволяет избежать тушовых ситуаций, т.е. уменьшить вероятности внутренних блокировок, обусловленных перегрузкой СО, а также внешних блокировок, обусловленных перегрузкой исходящих трактов связи.

Таким образом, одной из наиболее важных и сложных задач, тесно связанной с методами управления потоками информации, является распределение буферной памяти (БП).

В настоящее время можно выделить пять основных схем распределения буферной памяти:

1) полностью доступная (*Complete Sharing – CS*)

$$r_n = r = M; n = \begin{cases} (1, \dots, i); \\ (1, \dots, k); \end{cases}$$

2) полное разделение БП (*Complete Partitioning – CP*)

$$r = 0; \sum_{n=1}^n m_n = M; n = \begin{cases} (1, \dots, i); \\ (1, \dots, k); \end{cases}$$

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БУФЕРНОЙ ПАМЯТИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ РАЗНОРОДНЫХ ПОТОКОВ ИНФОРМАЦИИ

И.А. Полковников, канд. техн. наук, доцент, зам. ген. директора – начальник НТЦ ИКС НК,

Л.В. Воробьев, канд. техн. наук, доцент, инженер 1-й категории НТЦ ИКС НК, АО «ПКБ «РИО»,

контакт. тел. +7(981) 810 3800, +7(905) 289 4413, polkovnikov@pkb-rio.com

3) полностью доступная БП с индивидуальными потолками (*Sharing with Maximum Queue Length – SMQ*)

$$r = M; r_n \leq M; \sum_{n=1}^n r_n \geq M; n = \begin{cases} (1, \dots, i); \\ (1, \dots, k); \end{cases}$$

4) частично доступная (*Sharing with Minimum Allocation – SMA*)

$$r_i = r; 0 < r < M; 0 < \sum_{s=1}^k m_s < M;$$

5) частично доступная с индивидуальными потолками (*Sharing with Maximum Queue Length and Minimum Allocation – SMQMA*)

$$r_i \leq r; 0 < r < M; \sum_{s=1}^i r_s \geq r; 0 < \sum_{s=1}^k m_s < M,$$

где i – количество входящих потоков; k – исходящее направление; m_s – емкость выделенной зоны (группы буферов), недоступной для заявок других потоков; r – полностью доступная часть БП; r_n – ограничение на использование полностью доступной части БП; M – общая емкость БП.

Очевидно, что каждая из схем обладает определенными преимуществами в определенном диапазоне исходных данных. Таким образом, ставится задача оптимального распределения емкости БП.

В качестве математической модели БП примем следующую модель системы массового обслуживания (СМО). В БП СО поступают потоки сообщений с интенсивностью λ_s , ($s=1, \dots, i$). Для упрощения решения задачи предположим, что каждый поток пуассоновский. Суммарный поток, поступающий в БП, согласно свойствам наложения потоков, будет также пуассоновским с параметром, равным сумме параметров слагаемых потоков $\lambda_{\Sigma} = \sum_{s=1}^i \lambda_s$.

В зависимости от требований пользователей поток сообщений может обслуживаться либо как непрерывный, либо в пакетно-ориентированном режиме. При обслуживании непрерывного потока часть БП используется для на выполнение временной коммутации. При обслуживании в пакетно-ориентированном режиме информационные блоки обслуживаются в порядке поступления (FIFO). Процесс буферизации представляет собой двухфазную модель СМО, но, так как быстродействие процессоров значительно выше скорости работы в цифровом тракте, а время задержки перед обработкой в процессоре меньше задержек перед передачей по исходящему тракту, то две фазы обработки пакета можно заменить однофазной моделью. То есть для дальнейшего рассмотрения принимаем однофазную СМО с ожиданием и потерями при превышении ограничения на длину очереди.

Для варианта полного разделения БП сделанные ранее предположения позволяют представить модель данной БП, как модель СМО $M/M/1/m$. Данная модель СМО характе-

ризуется рядом показателей [4, 5], хорошо описываемых аналитическими выражениями, приведенными ниже.

1. **Вероятность блокировки.** Под блокировкой понимается явление, заключающееся в отказе постановки информационных блоков (ИБл) в очередь на обслуживание при отсутствии свободного буфера. Данное событие наступает при занятости тракта связи всех m буферов ($m \in \{M\}$) и поступлении очередного $m+1$ ИБл:

$$P_{\text{бл}} = \begin{cases} \frac{\rho^{m+1}(1-\rho)}{1-\rho^{m+2}}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{1}{m+2}, & \text{если } \rho = 1, \end{cases} \quad (1)$$

где $\rho = \lambda_k / \mu_k$; $\mu_k = 1/t_{\text{обсл}}$, $t_{\text{обсл}}$ – длительность обслуживания k -го ИБл.

2. **Вероятность того, что ИБл будет принят в систему**

$$P_{\text{обсл}} = \begin{cases} \frac{1-\rho^{m+1}}{1-\rho^{m+2}}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{m+1}{m+2}, & \text{если } \rho = 1. \end{cases} \quad (2)$$

3. **Среднее число ИБл в очереди**

$$\overline{N_{\text{оч}}} = \begin{cases} \frac{\rho^2 \cdot [1-\rho^m(m+1-m\rho)]}{(1-\rho^{m+2}) \cdot (1-\rho)}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{m \cdot (m+1)}{2 \cdot (m+2)}, & \text{если } \rho = 1. \end{cases} \quad (3)$$

4. **Среднее время ожидания ИБл в очереди**

$$\overline{T_{\text{оч}}} = \begin{cases} \frac{\rho^2 [1-\rho^m \cdot (m+1-m\rho)]}{\mu \cdot \rho \cdot (1-\rho^{m+2}) \cdot (1-\rho)} = \frac{\overline{N_{\text{оч}}}}{\lambda}, & \text{если } \rho \neq 1; \\ \frac{m \cdot (m+1)}{2 \cdot \lambda \cdot (m+2)} = \frac{\overline{N_{\text{оч}}}}{\lambda}, & \text{если } \rho = 1. \end{cases} \quad (4)$$

Для полнодоступной БП также возможно применение аналитических выражений (1) – (4) при условии, что для обслуживания информационного потока используется единый тракт связи (моноканал). Если при обслуживании потока заявок используются n исходящих трактов связи, имеющих одинаковую скорость передачи, то для определения вероятностно-временных характеристик (ВВХ) могут быть использованы, следующие выражения:

1. **Вероятность блокировки:**

$$P_{\text{бл}} = \begin{cases} \psi^{n+m} \cdot \left(\frac{n^n}{n!} \cdot \left(\sum_{k=0}^n \frac{\psi^k n^k}{k!} + \frac{n^n \psi^{n+1} (1-\psi^m)}{n! \cdot (1-\psi)} \right)^{-1} \right), & \psi \neq 1; \\ \psi^{n+m} \cdot \left(\frac{n^n}{n!} \cdot \left(\sum_{k=0}^n \frac{n^k}{k!} + \frac{m \cdot n^n}{n!} \right)^{-1} \right), & \psi = 1, \end{cases} \quad (5)$$

где $\psi = \rho/n$.

2. **Вероятность того, что ИБл будет принят в систему**

$$P_{\text{обсл}} = 1 - P_{\text{бл}}. \quad (6)$$

3. **Среднее число ИБл в очереди:**

$$\overline{N_{\text{оч}}} = \begin{cases} \left(\frac{\psi^{n+1} n^n (1-(m+1) \cdot \psi^m + m \cdot \psi^{m+1})}{n! (1-\psi)^2} \right) \times \\ \times \left(\sum_{k=0}^n \frac{\psi^k n^k}{k!} + \frac{n^n \psi^{n+1} (1-\psi^m)}{n! \cdot (1-\psi)} \right)^{-1}, & \psi \neq 1; \\ \left(\frac{n^m m \cdot (m+1)}{2 \cdot n!} \right) \cdot \left(\sum_{k=0}^n \frac{n^k}{k!} + \frac{m \cdot n^n}{n!} \right)^{-1}, & \psi = 1. \end{cases} \quad (7)$$

4. **Среднее время ожидания ИБл в очереди**

$$\overline{T_{\text{ож}}} = \frac{\overline{N_{\text{оч}}}}{\lambda}. \quad (8)$$

Для других вариантов распределения емкости БП и при использовании для обслуживания ИБл трактов с различной скоростью передачи получение аналитических выражений представляется весьма сложной задачей. Поэтому наиболее рационально проводить оценку таких систем с помощью имитационных моделей. Алгоритм работы имитационной модели для полнодоступной БП и обслуживании потока сообщений по разноскоростным тактам имеет вид, представленный на рис. 2.

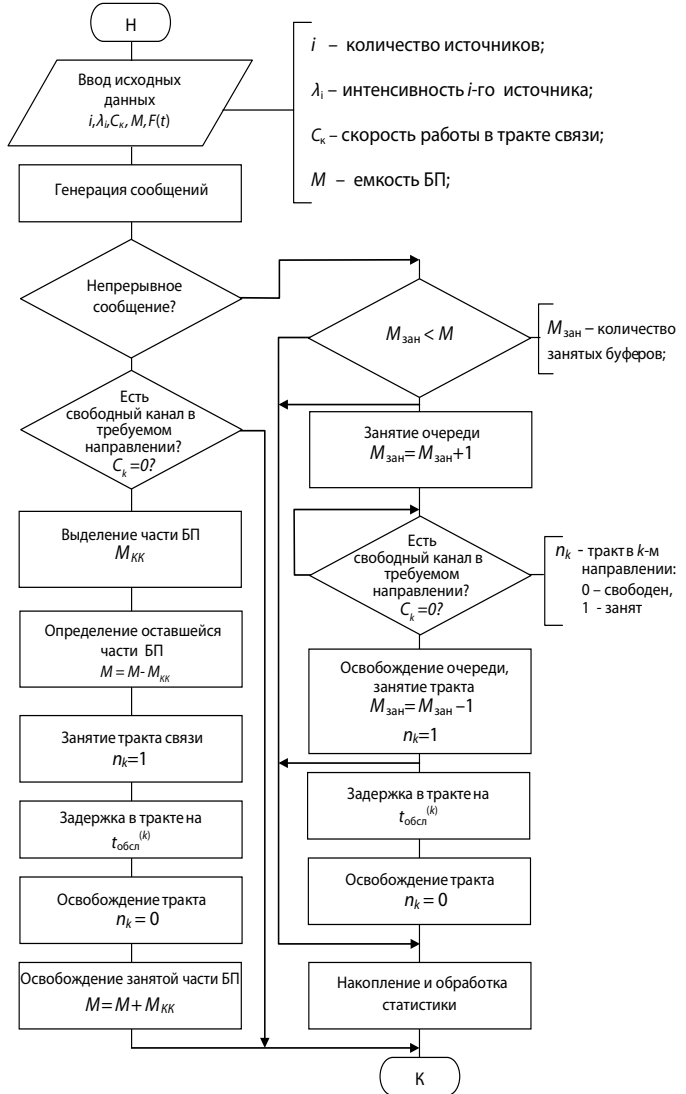


Рис. 2. Алгоритм обслуживания разнородного потока сообщений при использовании полнодоступной БП

Представленные схемы содержат определенную стратегию организации БП фиксированного объема [6]. Причем полнодоступная БП не допускает оптимизации, а остальные – допускают. В качестве оптимизируемых параметров выступают:

- для схемы с полным разделением БП это величины зон – вектор $\underline{m} = (m_1, \dots, m_i)$;
- для полнодоступной БП с индивидуальными потолками – вектор $\underline{r} = (r_1, \dots, r_k)$;
- для неполнодоступной БП – вектор $\underline{\bar{m}} = (m_1, \dots, m_i)$ и величина зоны \bar{r} ;
- для неполнодоступной БП с индивидуальными потолками – величина зоны \bar{r} ; вектора $\underline{m} = (m_1, \dots, m_i)$ и $\underline{r} = (r_1, \dots, r_k)$.

Выбор этих параметров может определяться в соответствии с некоторым критерием оптимальности. Выбор критерия зависит от поставленной задачи и может учитывать различные факторы (ограничения на задержки разных типов заявок и их различную ценность, ограничения по затратам и т.д.).

Рассмотрим систему распределения информации, на которую поступают I независимых пуассоновских потоков информационных блоков с интенсивностью $\lambda_{\text{ИБл}}^{(i)}$ ($i=1, \dots, I$):

$$\lambda_{\text{ИБл}}^{(i)} = \frac{V_i}{l_{\text{ИБл}}} \cdot \lambda_i, \quad (9)$$

где V_i – объем сообщения, $l_{\text{ИБл}}$ – размер ИБл, λ_i – интенсивность поступления сообщений.

БП имеет структуру S с алгоритмом распределения \mathfrak{R} . Длительность обслуживания ИБл имеет экспоненциальное распределение со средним значением

$$\overline{t_{\text{обсл}}} = \frac{l_{\text{ИБл}}}{C_k}, \quad (10)$$

где C_k – скорость передачи по k -му исходящему тракту. При этом поступающий пакет принимается на обслуживание, если хотя бы один из буферов в заданном направлении свободен. Если все буферы заняты, то СО считается заблокированным. Суммарная вероятность блокировки $P_{\text{бл}}^{(\Sigma)}$ определяется по формуле

$$P_{\text{бл}} = \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot P_{\text{бл}}^{(k)}, \quad (11)$$

где α_k – доля потока, предназначенного для k -го исходящего тракта, α_k определяется как

$$\alpha_k = \frac{\sum_s \lambda_s}{\lambda_{\Sigma}}, \quad (12)$$

где $\sum_s \lambda_s$ характеризует суммарную интенсивность входящих потоков сообщений данного типа $s \in \{I\}$, предназначенных для передачи в данном направлении; λ_{Σ} – суммарную интенсивность всех I входящих потоков, поступающих на данное СО

$$\lambda_{\Sigma} = \sum_{i=1}^I \lambda_i. \quad (13)$$

В качестве допущений также принято, что СО, тракты связи являются абсолютно надежными. Пакеты передаются без искажений и повторений. Быстродействие процессора СО значительно выше пропускных способностей исходящих трактов связи. Рассматриваются только бесприоритетные методы передачи.

Необходимо определить оптимальное распределение емкости БП при ее полном разделении и обслуживании разнородных потоков информации, обеспечивающее минимальную величину блокировки СО при ограничениях на общую емкость буферной памяти:

$$P_{\text{бл}} = f(S, \mathfrak{R}, I) \rightarrow \min. \quad (14)$$

При полном разделении БП поступающий ИБл принимается на обслуживание, если хотя бы один из буферов в заданном направлении свободен. Если все буферы заняты, то СО считается заблокированным. Вероятность блокировки каждого исходящего тракта $P_{\text{бл}}^{(k)}$ определяется по формуле (1), а СО в целом по формуле (11).

Необходимо определить оптимальные размеры выделенных зон $m = (m_1, \dots, m_I)$ к исходящим трактам связи, обеспечивающих минимальную величину блокировки СО при ограничениях на общую емкость БП. Данная задача относится к оптимизационным задачам нелинейного программирования с целевой функцией

$$\Phi(m) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot P_{\text{бл}}^{(k)} = \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot \frac{\rho_k^{m_k+1} (1-\rho_k)}{1-\rho_k^{m_k+2}} \Rightarrow \min \quad (15)$$

$$\text{и ограничением } h(m) = \left\{ \sum_{k=1}^K m_k = M \right\}; \quad [m_k] > 0. \quad (16)$$

Так как целевая функция является выпуклой, а ограничение представлено в виде равенства, для решения данной задачи можно использовать метод оптимизации, основанный на множителях Лагранжа (w) [7, 8]. Приводя минимизируемую функцию к функции Лагранжа, получаем

$$F(m, w) = \sum_{k=1}^K \alpha_k \cdot \frac{\rho_k^{m_k+1} (1-\rho_k)}{1-\rho_k^{m_k+2}} - w \cdot \left(\sum_{k=1}^K m_k - M \right), \quad (17)$$

где w – множители Лагранжа, которые могут принимать как положительные, так и отрицательные значения (знакоопределены).

Осуществив ряд преобразований:

$$\beta_k = \frac{\alpha_k (1-\rho_k)}{\rho_k}; \quad y_k = \rho_k^{m_k+2}, \quad (18)$$

$$\text{откуда} \quad m_k + 2 = \log_{\rho_k} y_k, \quad (19)$$

$$\text{тогда} \quad m_k = \log_{\rho_k} y_k - 2; \quad \sum_{k=1}^K (\log_{\rho_k} y_k - 2) = \\ = \sum_{k=1}^K \log_{\rho_k} y_k - 2K = \sum_{k=1}^K m_k = M$$

получаем функцию Лагранжа вида

$$F(m, w) = \sum_{k=1}^K \frac{\beta_k \cdot y_k}{(1-y_k)} - w \sum_{k=1}^K \log_{\rho_k} y_k - 2K - M = 0. \quad (20)$$

Необходимым условием существования экстремума является дифференцируемость функции и наличие таких множителей w , чтобы выполнялись условия, определяемые следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial F(y, w)}{\partial y_1} = \frac{\beta_1}{(1-y_1)^2} - \frac{w}{y_1 \cdot \ln y_1} = 0; \\ \vdots \\ \frac{\partial F(y, w)}{\partial y_2} = \frac{\beta_2}{(1-y_2)^2} - \frac{w}{y_2 \cdot \ln y_2} = 0; \\ \frac{\partial F(y, w)}{\partial w} = \sum_{k=1}^K \frac{\ln y_k}{\ln \rho_k} - 2K - M = 0. \end{cases} \quad (21)$$

Данная система уравнений может быть сведена к квадратному уравнению

$$ay^2 - by + c = 0, \quad \text{где } a = w, \quad b = 2w - \beta \ln \rho, \quad c = w, \quad \text{т. е.} \\ wy^2 - (2w - \beta \ln \rho) \cdot y + w = 0.$$

Решением уравнения является

$$y_k = \frac{(2w + \beta_k \cdot \ln \rho_k + \sqrt{4 \cdot w \cdot \beta_k \cdot \ln \rho_k + (\beta_k \cdot \ln \rho_k)^2})}{2w}. \quad (22)$$

В качестве примера показано решение задачи определения оптимальных размеров буфера для пяти источников при ограничении на величину БП $M = 30$ (пакетов) и заданных величинах:

№ ист-ка	1	2	3	4	5
l_i , выз/с	0,1	0,04	0,03	0,035	0,1
$t_{\text{обсл}}$, с	0,004	0,016	0,0078	0,016	0,016

Решение уравнения (22) представлено в виде графиков на рис. 4. В соответствии с данным решением по формуле (20) построены графики (рис. 5), показывающие размер буфера для каждого источника при заданных исходных данных без учета условий ограничения. Суммирование размеров буфера всех источников (рис. 6) позволяет определить значение множителя Лагранжа для конкретной задачи. В соответствии с данным значением по графикам рис. 5 определяется буфер каждого источника, при котором минимизируемая функция достигает своего экстремального значения.

Для предложенной задачи по графикам получаем, что для $M = 30$ (см. рис. 6) значение множителя Лагранжа, при котором минимальная вероятность блокировки БП $|w| = 0,019$. По графикам рис. 5 выбираются целочисленные значения m_k , приблизительно соответствующие найденному ранее множителю. Соответственно $m_1 \approx 8$; $m_2 \approx 9$; $m_3 = 3+4$; $m_4 = 2+3$; $m_5 = 7+8$, при которых $P_{\text{бл}} = 0,198$.

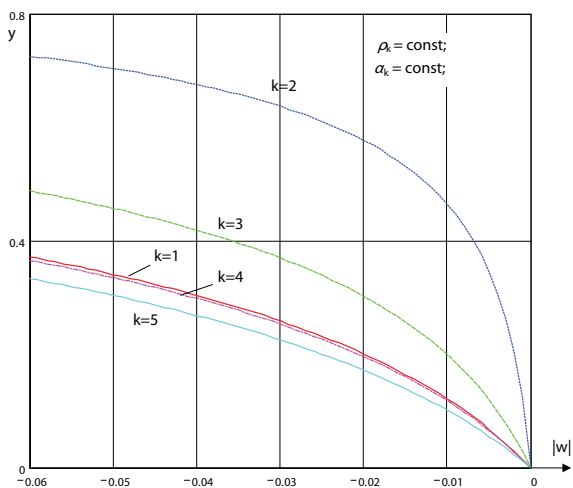


Рис. 4. Решение квадратного уравнения

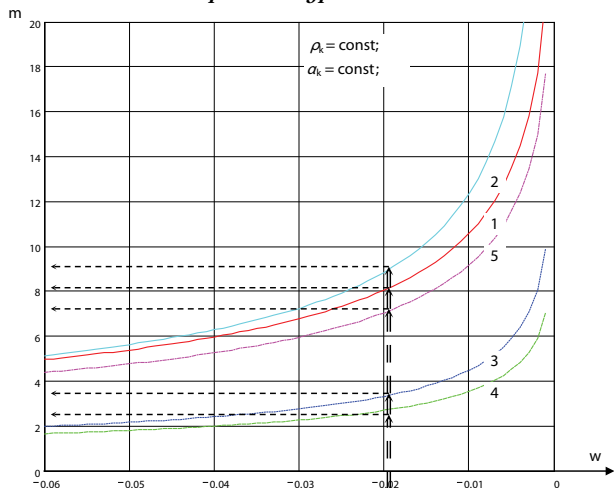


Рис. 5. Зависимость размеров буфера от значений множителя Лагранжа

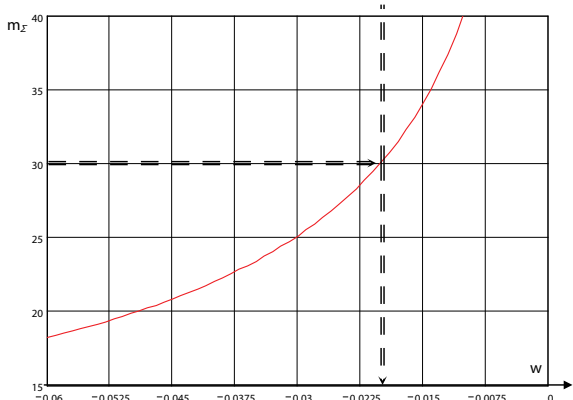


Рис. 6. График определения множителя Лагранжа по заданному размеру БП

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный пример решения задачи оптимального полного разделения БП показывает целесообразность и возможность решения такого рода задач. Неполнодоступная БП с индивидуальными потолками (SMQMA) является наиболее универсальной из всех рассматриваемых (рис. 7).

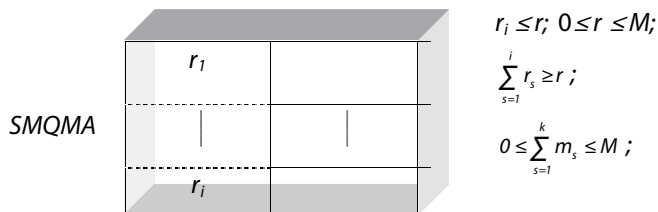


Рис. 7. Схема неполнодоступной БП с индивидуальными потолками

Решение задачи изменения зоны r и вектора $\vec{r} = (r_1, \dots, r_k)$ позволит оптимизировать ресурс буферной памяти. Так, при $r = 0$ и $\vec{r} = \vec{0}$, а $\sum_{s=1}^k m_s = M$, что соответствует полному разделению БП. При $r = M \Rightarrow \sum_{s=1}^k m_s = 0$ схема эквивалентна полнодоступной БП с индивидуальными потолками. Тогда изменение вектора \vec{r} приводит также к полному разделению БП либо к полнодоступной БП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Башарин Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А. Анализ очередей в вычислительных сетях. Теория и методы расчета. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.–ры, 1989. – 336 с.
2. Сергеева О.Ф. Распределение буферов накопителя узла коммутации пакетов между исходящими линиями при изменении загрузки. – В кн.: Сетевые протоколы и управление в распределенных вычислительных системах. – М.: Наука, 1986, с.56–65.
3. Башарин Г.П., Богуславский Л.Б., Самуйлов К.Е. О методах расчета пропускной способности сетей связи ЭВМ. – Электросвязь: Итоги науки и техники. – Т.13. – М.: ВИНТИ, 1983, с.32–106.
4. Шварц М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. – Ч.1. – М.: Наука, 1992. – 336 с.
5. Лабаскер Л.Г., Бабешко Л.О. Теория массового обслуживания в экономической сфере: Учеб. пособие для вузов. – М.: Банки и биржи, ЮНИТИ, 1998. – 319 с.
6. Гурич Л.С., Дымарский Я.С., Меркулов А.Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. – М.: Советское радио, 1968. – 464 с.
7. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.–ры, 1986. – 328 с.
9. Локи М. Введение в методы оптимизации. Основы и приложения нелинейного программирования/ Пер. с. англ. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. – 344 с. ■

В 1928 г. ЭПРОН получил правительственное задание по подъему английской ПЛ «L-55», затонувшей в Копорском заливе в 1919 г. на глубине 32 м в результате боя с советскими эсминцами «Азард» и «Гавриил». Для подъема в 1928 г. предполагалось использовать судоподъемное судно (СС) «Коммуна». Возглавил работы начальник ЭПРОН Л. Н. Захаров. Главным инженером был назначен корабельный инженер Т. И. Бобрицкий, начальником водолазной группы – Ф. А. Шпакович, а медицинской службы – К. А. Павловский. СС «Коммуна» с подвешенной на гинях ПЛ «L-55» ошвартовалась 11.08.1928 г. в Кронштадте. На следующий день эта ПЛ была поставлена в сухой док (рис. 5). В 1931 г. после восстановительного ремонта под тем же наименованием «L-55» ПЛ вошла в состав Балтийского флота. Успех подъема «L-55» привел к еще большему упрочению авторитета ЭПРОН [1, 8]. За успехи в судоподъемных работах Постановлением ЦИК СССР от 14.08.1929 г. ЭПРОН был награжден орденом Трудового Красного Знамени и стал именоваться Краснознаменным.

Наличие госзаказов способствовало улучшению и ускорению работ. Так, при утвержденном на 1932 г. правительством плане подъема судов, металлолома и различных грузов общей массой 21 тыс. т фактически было поднято 27 затонувших объектов общей массой более 22 тыс. т. Для подъема специалистами ЭПРОН с участием профессора П. Ф. Папковича был спроектирован и построен на Севастопольском морском заводе кольцевой понтон грузоподъемностью 1100 т. С помощью этого понтона в 1932–1935 гг. было поднято четыре башни главного калибра линкора «Императрица Мария» и две башни линкора «Свободная Россия» (бывш. линкор «Императрица Екатерина») под Новороссийском. Наиболее интересным был подъем в 1932 г. ПЛ «Судак» и «Лосось» с глубины 57 м в районе Севастополя.

Балтийская партия ЭПРОН летом 1933 г. с помощью судоподъемного судна «Коммуна» сумела поднять с глубины 84 м ПЛ № 9 («Рабочий»), затонувшую от столкновения с другой ПЛ в октябре 1931 г. Отдельная Дальневосточная партия ЭПРОН вскоре после своего образования осуществила сложный подъем парохода «Сишан» (водоизмещение – 1200 т). В предвоенные годы успешно продолжались судоподъемные работы. К началу Великой Отечественной войны на Черном море было поднято более ста боевых кораблей и различных судов

* Продолжение. Начало см. «Морской вестник», 2023, №2 (86)

РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ ЭКСПЕДИЦИИ ПОДВОДНЫХ РАБОТ ОСОБОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РАЗВИТИИ СУДОПОДЪЕМНОГО, ВОДОЛАЗНОГО И СПАСАТЕЛЬНОГО ДЕЛА РОССИИ К 100-ЛЕТИЮ ЭПРОН ЧАСТЬ 2*

*Г.А. Гребенщикова, д-р истор. наук, проф., СПбГМТУ,
В.С. Никитин, д-р техн. наук, проф., президент,
В.Н. Илюхин, д-р техн. наук, проф., руководитель секции,
Российское НТО судостроителей им. акад. А.Н. Крылова,
контакт. тел. (812) 757 1122, (812) 710 4011*



Рис. 5. Английская ПЛ «L-55» в доке Кронштадта, 1928 г.

общим водоизмещением около 60 тыс. т. Среди них – военные транспорты «Женероза», «Фредерик» и «Сербия», ПЛ «Кит» и «Краб», пароходы «Борис» и «Петр Великий».

На Севере ЭПРОН прославился подъемом 14.10.1933 г. в Кандалакшском заливе Белого моря с глубины 25 м на 12 стальных цилиндрических 200-тонных понтонах конструкции

И. Т. Бобрицкого ледокольного парохода «Садко» (рис. 6). Поднятое судно уже в июле 1934 г. ушло в плавание после сложных ремонтно-восстановительных работ [9]. Самым крупным пароходом, поднятым ЭПРОН за его предвоенную историю, был товаропассажирский пароход «Петр Великий» (водоизмещение – 9200 т). Пароход затонул в феврале 1920 г. на глубине 20 м, подорвавшись



Рис. 6. Подъем ледокольного парохода «Садко», 1933 г.

на mine в Варненском заливе. «Петр Великий» был поднят 5.10.1938 г. и отбуксирован к берегу на отмель. В сентябре 1934 г. на Тихоокеанском флоте эпроновцы за двое суток подняли ПЛ «М-8» с глубины 32 м, затонувшую при буксировке в Уссурийском заливе. Особого внимания заслуживает подъем в 1936 г. вблизи Севастополя с глубины 48 м парохода «Борис» с помощью четырех 200-тонных понтонов, остропленных над палубой поперек судна, стропы которых крепились за специальные обухи, приваренные к его бортам. Это был первый случай использования подводной электросварки в отечественном судоподъеме. В результате деятельности ЭПРОН за 1923–1938 гг. поднято с различных глубин морей, озер и рек 299 судов общим водоизмещением 157 тыс. т и 5 орудийных башен с линкоров массой по 4000 т каждая, а также выполнено большое количество работ по очистке морских и речных фарватеров от затонувших судов, а также подводных строительных и ремонтных гидротехнических работ [10].

СПАСАТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

В 1931 г. с возложением на ЭПРОН обязанностей по выполнению АСР для оперативного отслеживания обстановки на море в составе ГУ ЭПРОН был образован АСО и сформирована служба связи, которую возглавил опытный инженер и организатор А. А. Новицкий. Центральная радиостанция ЭПРОН в Ленинграде несла круглосуточную вахту и на аварийной волне принимала и регистрировала сигналы судов, потерпевших бедствие. В период 1931–1933 гг. было спасено 12 транспортов в различных районах Мирового океана, в том числе теплоходы «Ильич» в Эгейском море, «Сталинград» (3500 т) на Тихом океане, ледокольный пароход «Малыгин» в Арктике, танкер «Зорроза» (9730 т) на Черноморском флоте и др.

Выдающейся спасательной операцией явилось спасение в декабре 1931 г. выскочившего с полного хода на камни в 10 милях от порта Измир в Эгейском море парохода «Ильич» с грузом 2000 т чая. Работами руководил водолазный специалист В. И. Правдин. Показательным было спасение части экипажа ПЛ «АГ-21» («Металлист») водоизмещением 380 т, затонувшей 10.06.1931 г. в районе Севастополя на глубине 35 м, благодаря подъему ПЛ четырьмя плавающими кранами за 42 часа [11]. Особенно сложным было снятие с мели в 1936–1937 гг. ледокола «Сибиряков» в проливе Карские Ворота теплохода «Челюскинец», а также ПЛ «Щ-103» и «Щ-421» в Уссурийском заливе и у о. Кильдин (1940 г). К исключительным по сложности и оригинальности

инженерных решений должно быть отнесено спасение в 1939 г. севшего на камни в средней части Финского залива и разломившегося надвое теплохода «Челюскинец». В этой операции впервые проявил свой огромный талант судоподъемщика её руководитель Н. П. Чикер [12]. Спасение советских ледоколов «Малыгин» и «Садко» яркими страницами вошло в славную историю ЭПРОН. Эпроновцы проявили героизм, мужество и высокий профессионализм в экстремальных и ранее неизвестных им условиях, доказав возможность проведения водолазных работ при наличии сложных экстремальных факторов. В 1933 г. в Баренцевом море у берегов Шпицбергена в тяжелейших зимних арктических условиях был снят с камней и отбуксирован в порт ледокол «Малыгин», а летом 1938 г. выполнена сложнейшая операция по спасению наскочившего на рифы в Карских Воротах у Новой Земли ледокольного парохода «Сибиряков». После ремонта спасенное судно находилось в строю до 1942 г. Спасение ледокола «Малыгин», проведенное за Полярным кругом на 78-й параллели в условиях полярной ночи, при 30-градусном морозе, вьюгах и снегопадах, по праву относится к подвигу советских эпроновцев. Спасение советских ледоколов «Малыгин», «Сибиряков» и подъем «Садко» – яркие страницы в славной истории ЭПРОН. Эпроновцы вновь проявили героизм, мужество и высокий профессионализм, доказав возможность проведения водолазных работ в столь сложных природных условиях. Всеми тремя указанными операциями на Севере непосредственно руководил начальник ЭПРОН Ф. И. Крылов. Из предвоенного периода – 1935–1941 гг. – следует отметить работы по снятию с мели ПЛ «Щ-103» и «Щ-421».

Итогами деятельности ЭПРОН по спасению судов за пятнадцать лет его существования к 1938 г. было оказание помощи 188 кораблям и судам общим водоизмещением 420 тыс. т. Среди них было 33 иностранных судна, причем 8 из них общим водоизмещением 41 тыс. т остались в СССР, а за спасение остальных судов получено валюты более 80 тыс. англ. фунтов стерлингов [1,2].

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

В процессе увеличения количества и масштаба решаемых задач ЭПРОН пополнялся судами, подъемными средствами и техникой для поисковых, подводно-технических, водолазных и спасательных работ. Успешному внедрению новых технических средств, разработке новых методов спасательных, судоподъемных и водолазных работ, способам самостоятельного спасения подводников

из затонувших ПЛ способствовало образование в 1931 г. при ГУ ЭПРОН Научно-технического совета, Постоянной комиссии по АСД и привлечение в их состав ведущих ученых в области кораблестроения и физиологии подводных погружений: академика А. Н. Крылова, членов-корреспондентов АН СССР Ю. А. Шиманского и П. Ф. Папковича, профессора В. Г. Власова, академика Л. А. Орбели, члена-корреспондента АН СССР Е. М. Крепса, а также ряда известных конструкторов судостроительной промышленности. Научно-технический совет рассматривал и утверждал проекты крупных судоподъемных и АСР, конструкции новых СС и других технических средств. Например, с целью повышения эффективности спасения подводников из затонувшей ПЛ в 1938 г. рассматривался вопрос о создании специальной спасательной ПЛ (СПЛ) путем переоборудования одной из ПЛ типа «Барс». В предвоенные годы этот проект не был реализован. В 1931 г. было начато издание весьма солидных научно-технических сборников ЭПРОН (до 1940 г. вышло 28 номеров), в которых печатались также работы ученых и специалистов в области теории судоподъема, широко освещались проблемы практической деятельности ЭПРОН. Большую роль в мобилизации творческих сил ЭПРОН на решение наиболее актуальных технических проблем сыграл созданный в 1934 г. Научно-исследовательский отдел ГУ ЭПРОН. Его усилиями, в частности, в 1936 г. были внедрены в практику судоподъемная электрическая сварка и резка металлов под водой [2].

ЭПРОН, даже став всесоюзной организацией, испытывал острую потребность в спасательных и специализированных судах. Судовой состав ЭПРОН до 1941 г. пополнялся за счет подъема затонувших боевых кораблей и транспортных судов, восстановления и дооборудования поднятых кораблей и судов, строительства в 30-х гг. новых СС.

К 1926 г. в состав ЭПРОН входили СС «Кубанец», переоборудованное из поднятой в 1921 г. одноименной канонерской лодки, СС «Кабардинец», 3 буксирных катера, 4 моторных катера, 2 моторных водолазных баркасов, 10 гребных водолазных баркасов, 6 барж [1]. К 1932 г. судовой состав ЭПРОН увеличился до 30 паровых и моторных единиц, 14 барж, 35 самоходных и несамоходных водолазных ботов и баркасов. Однако для выполнения всех возложенных на ЭПРОН функций этого было недостаточно. Поэтому в Постановлении СТО СССР от 26.09.1932 г. было предусмотрено укрепление материально-технической базы и судового состава ЭПРОН.

В нем, в частности указывалось: «... обязать Союзверфь к 1.10.1933 г. закончить рабочие чертежи и построить к 1.07.1934 г. четыре спасательных морских судна в порядке постройки военных судов; отпустить средства ЭПРОН в 1933 и 1934 гг. на постройку специальных судов 10 млн. руб.» [1].

В июле 1934 г. было принято Постановление СНК СССР о приобретении в 1934–1935 гг. для ЭПРОН за границей двух СС. В соответствии с этим постановлением в 1935 г. для Черноморской экспедиции был приобретен построенный в 1921 г. в Бельгии спасательный буксир «Меркурий». На основе опыта работ на различных морских бассейнах ГУ ЭПРОН выработало основные требования к проектированию универсального СС для плавания во всех районах Мирового океана. Такой проект был разработан, и в 1940 г. ЭПРОН получил два головных СС – «Нептун» и «Сатурн», построенные Ленинградским судостроительным заводом. В 1938 г. ЭПРОН получил три новых буксира, построенных в Ленинграде на Петрозаводе. Для Балтийской экспедиции в 1939 г. было получено построенное в Голландии по заказу ЭПРОН современное СС «Сигнал» (рис. 7). К началу 1941 г. в состав ЭПРОН входили 30 СС и спасательных буксиров и 38 водолаз-

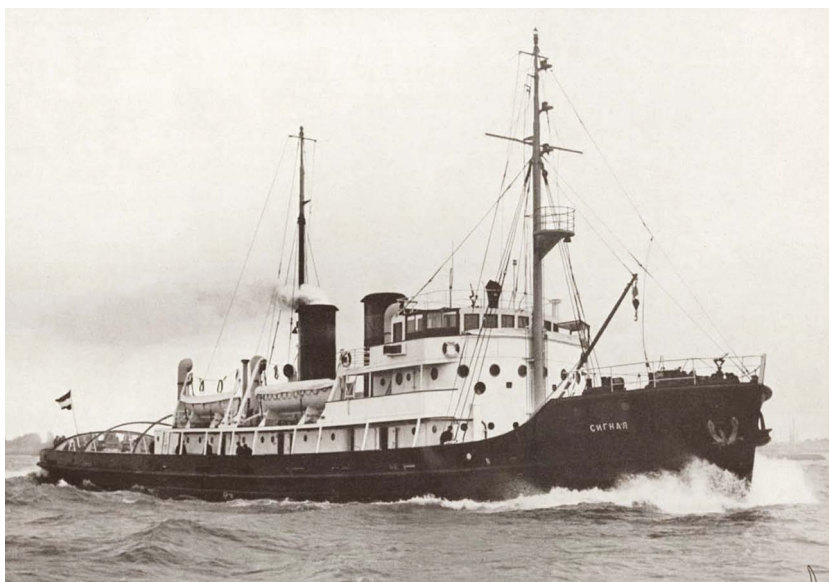


Рис. 7. Спасательное судно «Сигнал», 1939 г.

ных катеров, в том числе 7 современных, специальной постройки. В табл. 1 указаны характеристики СС до 1941 г. [13]. Опыт эксплуатации первого гидростата Е. Г. Даниленко показал, что он является незаменимым средством осмотра затонувших на больших глубинах объектов, однако размеры и 10-тонный вес осложняют его эксплуатацию. Построен-

ный в 1926 г. более легкий и компактный гидростат инженера ЭПРОН А. З. Капановского с рабочей глубиной около 100 м имел настолько удачную конструкцию (рис. 8), что в течение десятков лет был прототипом всех последующих наблюдательных камер в СССР [14].

От промышленности стало больше поступать новой судоподъемной тех-

Таблица 1

Характеристики спасательных судов ЭПРОНА до 1941 г.

Характеристика	«Волхов» («Коммуна»)	«Память Руслана»	«Кубанец»	«Кабардинец»	«Колывань»	«Меркурий»	«Сигнал»	«Нептун», «Сатурн»	«Юпитер»	«Шлем», «Водолаз», «Сталинец»
Место базирования	БФ	СФ	ЧФ	ЧФ	БФ	ЧФ	БФ	БФ	ЧФ	КФл
Год и место постройки	1915 Петроград	1920 Нидерланды	1888 Севастополь	1887 •	1911 Норвегия	1921 Бельгия	1939 Голландия	1939 Ленинград	1940 Севастополь	1938 Ленинград
Водоизмещение норм., т	2480	392	1280	214	1000	720	1378	1276	630	465
Длина, м	96,0	44,15	67,2	•	•	43,76	•	60	39,0	40,8
Ширина, м	18,6	7,60	12,2	•	•	8,77	•	9,5	8,2	7,6
Осадка ср., м	3,66	4,30	3,7	•	•	4,1	•	5,3	3,5	2,6
Скорость, уз	10,0		13,0	6,0	8,0	9,0	12,3	13,8	•	11,0
Мощность главных двигателей, л.с.	2400,0	750	1819	•	700	700	1300	1876	750	400
Специальное вооружение и оборудование	Четыре пары гиней для подъема подводных лодок водоизмещением до 1000 т с глубин до 60 м	•	•	•	Шахта под днищем для спусков водолазов, компрессоры, барокамера, устройство для подводной сварки и резки, водолазный бот	Водолазный комплекс, барокамера, водоотливной насос производительностью 900 м ³ /ч	•	Тяга на гаке 10 т при скорости 7,0 уз Водолазный комплекс до 60 м, барокамера, водоотливные средства – 1000 м ³ /ч, подъем грузов массой до 35 т	Водоотливные средства	•
Примечания	–	Построено как морской буксирный пароход	Построено как канонерская лодка	Построено как буксирный пароход	Построено как китобойное судно	–	–	–	–	Построено как буксир



Рис. 8. А.З. Каплановский перед спуском в гидростат, 1927 г.

ники. Кроме 200-тонных цилиндрических понтонов системы Т. И. Бобрицкого по проекту В. Ф. Кюнслера были построены два типа (морской и речной) 80-тонных понтонов. После гибели парохода «Челюскин», специалисты ЭПРОН для его предполагаемого подъема спроектировали 225-тонные стальные разборные понтоны, которые можно было перевозить по железной дороге и на судах. В 1931 г. главным инженером ЭПРОН Т. И. Бобрицким на базе расчетов П. Ф. Папковича был спроектирован кольцевой понтон подъемной силой 1100 тс, использованный для подъема артиллерийских башен главного калибра затонувших черноморских линкоров. Им же был спроектирован цилиндрический судоподъемный понтон (ССП) подъемной силой 200 тс. Инженер ЭПРОН В. Ф. Кюнслер спроектировал цилиндрические ССП подъемной силой 40 тс и 80 тс. Понтоны всех этих типов были построены в достаточно больших количествах и широко применялись в судоподъеме. В середине 30-х гг. были созданы и освоены современные средства размыва и удаления грунта – гидромониторы и грунтососы. В судоподъеме стали применять подводную электросварку и резку металлов. По заказу ЭПРОН Ленинградский завод «Пневматика» изготовил для проведения подводных работ водолазные инструменты. Промышленность страны поставляла в необходимых количествах водолазное снаряжение [15].

Планами ЭПРОН на третью пятилетку предусматривались разработка и внедрение поточно-декомпрессионных камер, подводного телевидения, фотографирования, сварки, механизации водолазного труда, режимов спуска в мягких скафандрах на глубины до 180 м с применением кислорода и гелия, а также спусков в жестких скафандрах

на глубины до 200 м [2]. Учитывая, что спасание личного состава ПЛ не всегда может быть эффективным, специалисты ВМедА и ВМВТ разработали индивидуальные спасательные аппараты подводников Э-1, Э-2, Э-3, Э-4 и Э-5. В 1934 г. были созданы изолирующий гидрокombineзон и новые дыхательные аппараты ВИА, ИПА, ИСА-М (рис. 9). Большую роль в подготовке специалистов аварийно-спасательного дела и судоподъема сыграло изданное в 1933 г. пособие М. М. Обольянинова «Подъем затонувших судов и борьба с аварийными повреждениями», а также вышедший в свет в 1938 г. учебник В. Ф. Кюнслера «Судоподъем», ряд других пособий и учебников.



Рис. 9. Индивидуальный спасательный аппарат ИСА с гидрокombineзоном ТУ-1, 1938 г.

РЕШЕНИЕ НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗАДАЧ

Кроме выполнения АСР и судоподъемных работ водолазы и другие специалисты ЭПРОН принимали активное участие в строительстве целого ряда народнохозяйственных гидротехнических объектов. В связи с возрастанием объема этих работ и их значимости в общей деятельности ЭПРОН 11.09.1940 г. наркомом Морского флота было утверждено Положение о проведении подводно-технических работ (ПТР), выполняемых ЭПРОН для военных, промышленных, транспортных и других наркоматов и ведомств СССР. Так, большой объем дноуглубительных и взрывных работ был выполнен при строительстве Беломорско-Балтийского канала. Для технического и организационного руководства этими и подобными работами 1.09.1930 г. в ЭПРОН было создано специальное управление дноуглубительных работ. Ленинградский отряд ПТР в 1938–1941 гг. участвовал в строительстве гидротехнических сооружений в Полярном, Палдиски, на о. Даго и в других портах Эстонской ССР. В очень сложных условиях в период освоения Северного морского пути работали водолазы ЭПРОН в 1934–1935 гг. на о. Диксон. В июне 1934 г. из Ленинграда на Диксон на па-

роходе «Томский» прибыла группа подрывников и водолазов ЭПРОН в составе семи человек, которые, согласно договору, обязались подрывным способом срезать вершину скалы под площадку для склада угля и построить две причальные линии на ряжах для причаливших в бухту Диксона судов. В конце октября 1934 г. эпроновцы приступили к ручному бурению, которое продолжалось до декабря 1935 г. Объем выполненных ими в течение двух лет работ и сегодня вызывает уважение: было взорвано 35 000 кубометров камня, аммоналом выровнена площадка, уложена каменная «постель» на дне, на которой возвели деревянные кряжи [16]. На Дальнем Востоке проложены трубопроводы и электрокабели в бухте Золотой Рог. Эпроновцы участвовали в ремонте мола и стенки Кронштадтского военного порта. В 1936 г. при выявлении и изучении нефтеносных районов в Каспийском море под руководством Н. П. Чикера и по его проекту на глубине 12 м была установлена первая нефтяная вышка, построен пирс в Баку, отремонтирован эллинг судоремонтного завода. Водолазы провели сложные работы по прокладке кабелей высокого напряжения через реку Москву и по углублению порогов на Волге, углублению акватории на судоремонтном заводе имени Марти в Одессе, в ремонте мола судоремонтного завода № 201 в Севастополе, обслуживали гидроэлектростанцию в Запорожье. И это далеко не полный перечень работ ЭПРОН.

К началу Великой Отечественной войны в состав ЭПРОН входили девять отрядов и групп, выполнявших гидротехнические работы: Ленинградский и Московский отряды ПТР, группы ПТР в Новороссийске, Одессе, Астрахани, Владивостоке, Мурманске и на о. Сахалин [2].

АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ (АСО) ВМФ

До 1941 г. в составе ВМФ не было специальной службы для АСО сил ВМФ. В составе Технических управлений флотов были аварийно-спасательные отделения, отвечающие за обеспечение кораблей аварийно-спасательным имуществом [17]. Организация АСО ВМФ выполнялась ЭПРОН и определялась Положением об аварийно-спасательной службе на морских силах морей и военных флотилий, разработанным на основании постановления СНК № 65 от 1932 г. и введенным в действие приказом Реввоенсовета СССР № 132 от 1933 г. С учетом накопленного опыта в 1937 г. было разработано новое Положение об аварийно-спасательной службе на морях и ре-

ках СССР, утвержденное наркомом обороны и наркомом водного транспорта и введенное в действие приказом НКО СССР от 11.02.1937 г. Следует отметить, что под термином аварийно-спасательная служба в те годы подразумевались современные термины-синонимы: аварийно-спасательное и поисково-спасательное обеспечение. В Положении были уточнены задачи ЭПРОН по оказанию помощи кораблям ВМФ и судам морского и речного флота, а также порядок подготовки, финансирования и снабжения аварийно-спасательных отрядов. На флотах разрабатывались планы поиска аварийных ПЛ и спасения их личного состава, специалисты ЭПРОН изучали все типы подводных лодок, находящиеся в строю на соответствующем театре. В ходе боевой подготовки в подразделениях ЭПРОН проводились учения по подъему затонувшей ПЛ с помощью СС «Коммуна» и плавкранов. В 1938 г. врачами ВМедА Б. Д. Кравчинским и С. П. Шистовским было разработано Временное наставление по выходу людей из затонувшей подводной лодки. В 1940 г., после доработки, оно было введено в действие приказом наркома ВМФ. В 1938 г. на Черноморском флоте подводники впервые вышли по буйрепу из ПЛ с глубины 40 м через торпедный аппарат и через боевую рубку с глубины 70 м. Следует отметить, что до конца 40-х гг. самостоятельный выход подводников из аварийной ПЛ, лежащей на грунте, путем свободного всплытия считался второстепенным, а выход по буйрепу – основным.

В 1938 г. в составе ГУ ЭПРОН был образован специальный 4-й отдел технического обеспечения берегового строительства ВМФ, который в 1939 г. преобразован в 3-й отдел гидротехнических работ.

Особое место в довоенной летописи ЭПРОН занимает проводка кораблей ВМФ по мелководным рекам, важные положения выполнения которой отражены в отчете ГУ ЭПРОН

за 1933–1940 гг.: «Краснознаменный ЭПРОН принимал участие в переводе из Балтийского моря в Белое всех кораблей Северного флота, проводил корабли и различные суда из Ленинграда в Каспийское море. Накопленный опыт позволяет отметить, что тактика проводки кораблей по мелководным внутренним путям в настоящее время освоена, если учесть весьма удачную проводку кораблей ЭОН-8 и подлодки «Д-2» осенью 1939 года в условиях небывало низкого горизонта воды. Поскольку операции перевода кораблей по мелководным рекам связаны с длительным выходом кораблей из строя, то они должны производиться возможно быстрее, скрытно, с наименьшей степенью разоружения» [18].

В деятельности ЭПРОН имели место и недостатки, многие из которых были следствием двойного подчинения ЭПРОН: в материально-финансовом отношении – наркомату Морского флота и в оперативном отношении – наркомату ВМФ. О сложности работы в таких условиях начальник ЭПРОН Ф. И. Крылов 1.02.1941 г. обратился с докладом к наркомату Морского флота О. С. Дукельскому и наркомату ВМФ Н. Г. Кузнецову, в котором сказано: «Мой долг доложить Вам, что, если в самое же ближайшее время вопрос об ЭПРОН коренным образом не будет решен, если ЭПРОН не будут определены твердые и ясные правовые основания и если руководство деятельностью ЭПРОН останется прежним, то обеспечение аварийно-спасательной службой ВМФ на 1941 г. будет стоять под угрозой срыва» [2]. Затянувшийся вопрос о подчиненности ЭПРОН очень скоро был решен.

Продолжение следует

ЛИТЕРАТУРА

1. Чикер Н. П. Служба особого назначения. – М.: Изд. ДОСААФ, 1975.
2. Спасатели Военно-Морского Флота. – М.: Воениздат, 1996.

3. ЭПРОН: Документы по истории Экспедиции Подводных Работ Особого Назначения при ОГПУ СССР (1923–1931). – М., 2015.
4. ЭПРОН: Сб. ст. по судоподъему, водолазному и аварийно-спасательному делу/Под ред. Ф. И. Крылова. – 1938. – № XXIII–XX. – С. 418.
5. Шпакович Ф. А. Воспоминания старого водолаза. – В кн.: А. В. Жбанов, А. А. Помозов, Д. А. Жбанова. Севастопольские гидронавты. – Севастополь, 2014. – С. 384–397.
6. Илюхин В. Н., Капустин Б. В. Водолазы России: Основные вехи истории//Русский подводный технический журнал «Октопус». – 2008. – № 4. – С. 26–30.
7. Боровиков П. А. Водолазное дело России: С конца 1930-х и до наших дней. – М.: Нептун. – 2017. – С. 598.
8. Жбанов А. В. 100 лет... Что дальше? – Харьков: Севастополь. ЭПРОН-Клуб. – 2015. – С. 160.
9. ЭПРОН: Сб. ст. по судоподъему, водолазному и аварийно-спасательному делу/Под ред. Ф. И. Крылова. – 1936. – № III–V. – С. 456.
10. Фирсанов С. В. Исторические вехи создания аварийно-спасательной службы Красного Флота//Мат-лы науч.-практ. конф. «Рождённый революцией: К 100-летию Красного Флота. – СПб.: ЦВММ, 2018. – С. 173–183.
11. Как это делалось в ЭПРОН. – В кн.: А. В. Жбанов, А. А. Помозов, Д. А. Жбанова. Севастопольские гидронавты. – Севастополь, 2014, с. 362–364.
12. Муру Н. П., Маняк С. Н. Чикер Николай Петрович: Биограф. очерк. – СПб., 1995.
13. Илюхин В. Н. О развитии судов АСС ВМФ//Судостроение. – 2020. – № 6. – С. 59–64; № 1. – С. 59–68.
14. В их иллюминаторы заглядывала бездна... Каталог коллекции водолазной техники из фондов ЦВММ: К 100-летию АСС ВМФ. – СПб.: ЦВММ, 2021. – 108 с.
15. Илюхин В. Н. О развитии АСС ВМФ: К 100-летию со дня создания//Морской вестник. – 2021. – № 1 (77). – С. 112–119.
16. Кишкун И. М. ЭПРОН на Диксоне//ЭПРОН: Сб. ст., № XIII–XV, с. 42.
17. Черкасов Г. С. Реорганизация аварийно-спасательной службы ВМФ в период 1941–1946 гг. //Иформ. сб. УПАСР ВМФ. – 1995. – Вып. 7 (43). – С. 217–225.
18. РГАВМФ. Ф. Р-961. Оп. 1. Д. 286. Л. 3. ■

Анем рождения Военно-морских сил Народно-освободительной армии Китая (ВМС НОАК) считается 23 апреля 1949 г., когда были созданы морские силы Восточно-Китайского военного округа¹. Командиром и политическим комиссаром этого военно-морского формирования был Чжан Айпин. Решением Центрального Военного совета Китайской Народной Республики от 17 декабря 1987 г. дата утверждена как официальный праздник.

Возглавить создание национальных ВМС в середине октября 1949 г. от имени правительства Мао Цзэдун предложил опытному политработнику и военачальнику китайской Красной Армии Сяо Цзингуану, 43-летнему командующему военным округом Хунань. Отсутствие специальных знаний не стали препятствием для назначения – более ценными достоинствами посчитали организаторские способности, опыт пребывания и обучения в СССР (1921–1923, 1927–1930), владение русским языком.

Когда в апреле 1950 г. в Пекине было создано командование ВМС НОАК, оборонительная концепция боевого применения сил флота предусматривала использование наряду с береговой артиллерией и «лёгких сил» – торпедных и артиллерийских катеров при поддержке авиации, базирующейся на побережье и прибрежные острова (полное господство на части которых еще предстояло закрепить военной силой). Рассматривая как наиболее вероятную «империалистическую агрессию» со стороны моря, важнейшей задачей своего флота китайское руководство, тем не менее, считало десантную операцию на о. Тайвань с самыми решительными целями.



Первые надводные корабли ВМС НОАК, ноябрь 1949 г.



Сторожевой корабль «Nanping», перевооруженный советской артиллерией

¹С 23.09.1955 г. – Восточный флот ВМС НОАК.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО, ИСПЫТАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ ВМС НОАК

ЧАСТЬ 1

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

В течение 1950 г. правительство КНР приобрело через национализированные и частные судоходные компании 48 разоруженных, использовавшихся в коммерческих целях кораблей, включая корветы, сторожевые и десантные корабли.

Кроме того, с Великобританией была достигнута договоренность о закупке на льготных условиях двух выведенных из боевого состава британского флота крейсеров, шести эсминцев и десяти тральщиков. Некоторое количество боевых кораблей ВМС Гоминьдана, включая полученные в результате раздела японского флота, досталось КНР в качестве трофеев. Подсчитанная в апреле 1950 г. общая численность кораблей, судов и плавсредств составила 134 ед. суммарным водоизмещением около 44 тыс. т.

Прежде всего требовалось организовать их техническое освидетельствование, дефектацию, ремонт и перевооружение унифицированными образцами артиллерии и других видов вооружения. Большинство сторожевиков и фрегатов впоследствии получили советские 100-мм палубные артиллерийские установки Б-34-УСМ и 37-мм зенитные автоматы 70-К.

В мае 1950 г. в военно-морской базе Циндао сформировали учебную бригаду для подготовки команд надводных кораблей. Тогда же, в мае, состоялась первая боевая операция НОАК против сил ВМФ Гоминьдана по «освобождению» островов Ваньшань с участием 16 кораблей.

После первой победы флота командующий ВМС НОАК Сяо Цзингуан запросил разрешения Мао Цзэдуна на поездку в СССР для переговоров с советским военно-морским командованием и получил указание сделать это как можно скорее. В Москве его принял начальник Морского генерального штаба адмирал А. Г. Головкин.

Война на Корейском полуострове перечеркнула планы самостоятельных закупок кораблей – последовало эмбарго на поставки военной техники. К тому же большую часть ассигнований бюджета ВМС НОАК перераспределили в пользу авиации. Пришлось обращаться к Советскому Союзу.

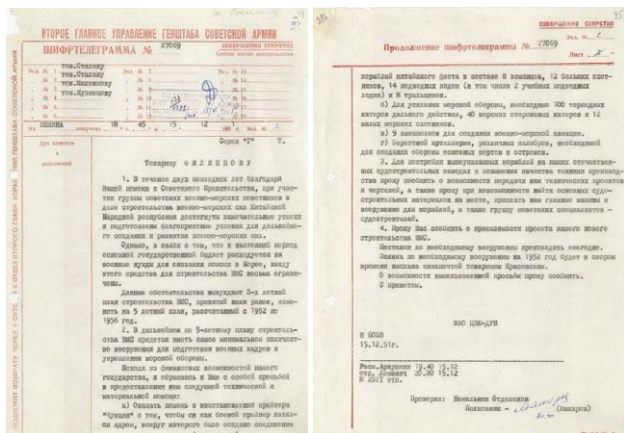
Мао Цзэдун избегал личного обращения к Сталину, рассчитывая на принятие решений на уровне Министерства обороны СССР. В ноябре 1951 г. вновь направленного китайским руководством в Москву Сяо Цзингуана принял военно-морской министр СССР вице-адмирал Н. Г. Кузнецов, назначенный на этот пост тремя месяцами ранее. Одним из главных вопросов была поставка боевых кораблей, что требовало согласования с промышленными министерствами. А отношения Н. Г. Кузнецова с «генералами промышленности» к тому времени обострились до предела.

Конфликт возник еще в 1945–1946 гг., в период согласования с руководством созданного министерства тяжелого и транспортного машиностроения (И. И. Носенко, И. Ф. Тевосьян) и руководителем Оперативного бюро при Совете Народных Комиссаров СССР маршалом Л. П. Берия номенклатуры

проектов и количества запланированных к серийной постройке проектов кораблей². Опираясь на мнение специалистов воссозданного в 1946 г. в системе ВМС ЦНИИ военного кораблестроения³, Н. Г. Кузнецов выступал категорически против массового строительства надводных кораблей и подводных лодок по довоенным откорректированным проектам, поскольку большая их часть сохраняла неустраняемые недостатки (прежде всего недостаточную мореходность и прочность корпусов), подтвержденные военным опытом⁴. Тем не менее он был вынужден (вследствие снижения своего статуса в результате упразднения наркомата ВМФ и реформы министерств) в процессе формирования послевоенной десятилетней кораблестроительной программы пойти на значительные уступки промышленности, фактически отказавшейся от разработки новых проектов надводных кораблей.

По возвращении в Москву с Дальнего Востока Н. Г. Кузнецов вступил в должность министра ВМС и направил Председателю Совета министров СССР И. Сталину доклад «О серьезных недостатках в кораблестроении и вооружении». 31 июля 1952 г. последовал доклад «Об основных недостатках по оружию и технике ВМС и предложения по их устранению» в адрес И. В. Сталина, Н. А. Булганина и Г. М. Маленкова⁵.

Поэтому министр ВМС СССР уведомил китайского коллегу о необходимости обращения высшего руководства КНР непосредственно к Сталину. 15 декабря 1951 г. Мао Цзэдун направляет «товарищу Филиппову» (псевдоним Сталина для секретной переписки) шифротелеграмму № 6038.



Шифротелеграмма «товарищу Филиппову»

«1. В течение двух последних лет благодаря Вашей помощи и Советского Правительства, при участии группы советских военно-морских советников в деле строительства военно-морских сил Китайской Народной республики достигнуты замечательные успехи... Однако в связи с тем, что в настоящее время основной государственный бюджет расходуется на военные нужды для оказания помощи в Корее, ... средства для строительства ВМС весьма ограничены. Данные обстоятельства вынуждают трехлетний план строительства ВМС, принятый нами ранее, изменить на пятилетний план, рассчитанный с 1952 по 1956 год. ...

Исходя из финансовых возможностей нашего государства, я обращаюсь к Вам с особой просьбой в предоставлении нам следующей технической и материальной помощи.

²Подробнее см.: Литвиненко Д. Работать на дальнюю перспективу (опыт послевоенного возрождения нашего кораблестроения) // Морской сборник. 1997. № 2. С. 63–67.

³Подробнее см.: Третьяков О. В. К 90-летию Научно-исследовательского института кораблестроения и вооружения ВМФ // Морской вестник. 2022. № 3(83). С. 107–112.

⁴ЦВМА. Ф. 403. Д. 40304. Л. 128–139.

⁵Подробнее см.: Кузнецов Н. Г. Крутые повороты: из записок адмирала. – М., 1995. С. 154, 232; Костев Г. Г. Военно-морской флот страны (1945–1995). Взлеты и падения. – СПб.: Наука, 1999, с. 33.

а) Оказать помощь в восстановлении крейсера «Чунцин» с тем, чтобы он как боевой крейсер являлся бы ядром, вокруг которого было создано соединение кораблей китайского флота в составе восьми эсминцев, 12 больших охотников, 14 подводных лодок (в том числе две учебных подводных лодки) и восьми тральщиков.

б) Для усиления морской обороны необходимо 100 торпедных катеров дальнего действия, 40 морских сторожевых катеров и 12 малых морских охотников.

в) Девять авиополюсов для создания военно-морской авиации.

г) Береговой артиллерии, различных калибров, необходимой для создания обороны основных портов и островов...

3. Для постройки вышеуказанных кораблей на наших отечественных судостроительных заводах и повышения качества техники производства прошу сообщить о возможности передачи нам технических проектов и чертежей, а также прошу при невозможности найти основных судостроительных материалов на месте прислать нам главные машины и вооружение для кораблей, а также группу советских специалистов-судостроителей...»⁶.

К сожалению, рамки журнальной публикации не позволяют рассказать как о судьбе легкого крейсера «Чунцин»⁷, так и о подробностях согласования объема советской помощи (по китайским оценкам, на сумму 1800 млн. руб.).

22 апреля 1952 г. для переговоров в Москву прибыла китайская делегация под руководством командующего ВМС НОАК. Изучив перечень необходимого вооружения и уведомив о невозможности передать КНР восемь запрошенных эсминцев, советская сторона предложила финансовые условия поставок. Тем не менее Мао Цзэдун еще дважды обращался к Сталину с просьбой о продаже боевых кораблей. Ограниченный корабельный состав разделенного на два (5-й и 7-й ВМФ) советского Тихоокеанского флота и скромный потенциал судостроительной промышленности на Дальнем Востоке не оставляли никакой возможности его сокращения в условиях продолжавшегося военного конфликта на Корейском полуострове. Поэтому Сталин, вновь предлагая помощь в восстановительном ремонте «трофейного» крейсера, категорически отказывался продавать эсминцы⁸.

10 июля 1952 г. Мао Цзэдун в шифротелеграмме № 2024 формулирует очередную просьбу: «... В целях дальнейшего развития наших ВМС в период первого пятилетнего плана и начала второго пятилетнего плана мы рассчитываем создать свои, постепенно возрастающие возможности производства главных механизмов и других материалов, необходимых для строительства подводных лодок, торпедных катеров, тральщиков, больших и малых охотников, а также производства морских мин и торпед для ВМС. ...Ввиду этого прошу Советское правительство оказать помощь нашему министерству тяжелой промышленности в создании предприятий по изготовлению дизелей, морских мин и торпед, для чего прошу прислать в Китай группу специалистов для работы по проектированию и оказанию содействия в строительстве данных предприятий...»⁹.

Дважды, в сентябре 1952 и в январе 1953 г., с задачей подготовки соглашения о поставках в Москве побывал за-

⁶РГАСПИ. Ф. 558. Оп. 11. Д. 342. Л. 44–45.

⁷Бывший английский «Аурога» (постройки 1937 г.) в марте 1948 г. переданный ВМС Гоминьдана и в феврале 1949 г. передеший на сторону КНР. Проект капитально-восстановительного ремонта крейсера «Чунцин» в течение 1953 г. разрабатывало ЦКБ-17 (ныне – ПАО «Невское ПКБ»).

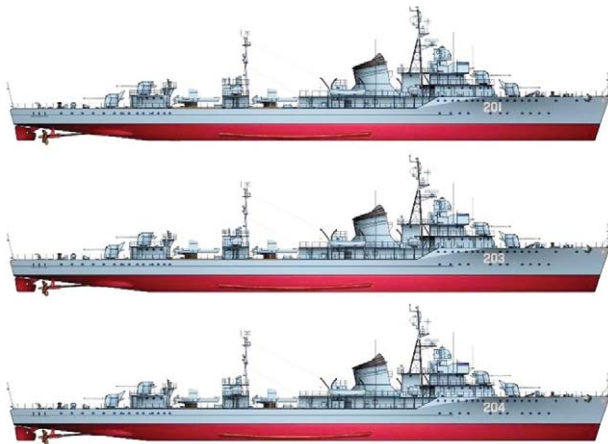
⁸Хотя в декабре 1949 г. военно-морской флаг подняли первые три эсминца пр. 30бис постройки завода № 199, а годом ранее – два корабля проекта 30К, в феврале 1950 г. в порту Майдзуру были возвращены США полученные ранее по ленд-лизу 27 фрегатов типа «Тасома». В состав эскадры надводных кораблей 5-го ВМФ пришлось включить трофейные японские эсминцы «Внимательный» (бывш. «Кидзи») и «Возрожденный» (бывш. «Кири»).

⁹РГАСПИ. Ф. 558. Оп. 11. Д. 343. Л. 61–62.

меститель командующего ВМС НОАК. Очевидно, что переговоры велись на уровне вторых лиц, как минимум, трех советских министерств (ВМС, иностранных дел, тяжелого и транспортного машиностроения), но степень их секретности была высочайшей. Когда через неделю после смерти Сталина китайское руководство запросило Председателя Совета министров СССР Г. М. Маленкова о судьбе подготовленного к подписанию межправительственного соглашения, он ответил, что ничего не знает о проведенных ранее переговорах.

Это заставило китайских переговорщиков изменить тактику. Сяо Цзингуан инструктировал находившегося в Москве своего начальника штаба: «Прилагаются все усилия для получения готовых изделий и полуфабрикатов. Даже если они передадут старые корабли, это лучше, чем ничего... США угрожают им через Японию и Тайвань. Мы будем укреплять наши вооруженные силы и оттягивать угрозу на себя¹⁰. Мы также понимаем, что самые последние и самые секретные разработки СССР никогда не будут переданы нам».

В связи с уменьшением угрозы эскалации боевых действий на Корейском полуострове новое руководство СССР посчитало возможным сократить корабельный состав советского флота на Дальнем Востоке. Решение диктовалось двумя соображениями: во-первых, в СССР выполнялась десятилетняя кораблестроительная программа, по завершению которой флоты получали новые, более совершенные эскадренные миноносцы, а затраты на ремонт и модернизацию продаваемых кораблей вполне компенсировались. Во-вторых, корабли передавались стратегическому союзнику на Дальнем Востоке.



Внешний вид китайских «семерок» в 1950-е гг.

Прибывший в Москву заместитель председателя Госплана КНР и министр тяжелой промышленности Ли Фучунь 4 июня 1953 г. подписал контракт на покупку четырех модернизированных эсминцев пр.7, как указывают китайские источники, «по цене, эквивалентной семнадцати тоннам золота» (75,65 млн. руб. по курсу 1950 г.), – с передачей их Китаю в марте 1954 г. Однако утверждать, что Советский Союз «вторично продал Китаю устаревшие корабли», как это пытаются представить некоторое недобросовестные исследователи, нет оснований, поскольку средняя стоимость модернизации «семерок» составляла 40–45 млн. руб.¹¹

¹⁰ Советско-китайский договор о дружбе, союзе и взаимной помощи от 14 августа 1945 г. требовал совместных военных действий только в случае нападения на КНР Японии или другой страны, которая с ней объединится. Поскольку Япония перестала представлять опасность, военная составляющая договора, который не обязывал СССР вмешаться в случае военного столкновения Пекина с войсками Чан Кайши на Тайване, не имела практической ценности. США же приняли обязательство поддерживать правительство Чан Кайши, от которого не могли отказаться.

¹¹ Котов М.В. Послевоенная модернизация и переоборудование эскадренных миноносцев проектов 7 и 7у // Тайфун. 2001. № 7. С. 12–17.



Передаваемые КНР торпедные катера пр. 123бис, декабрь 1950 г.



Погрузка торпед на подводную лодку С-22 в период обучения китайских экипажей. ВМБ Порт-Артур, 1954 г.



Передаваемая Береговой обороне ВМС НОАК в Порт-Артуре 130-мм железнодорожная артиллерийская установка Б-57 с орудием Б-13-2с

Год спустя, 4 июля 1954 г., было подписано межправительственное «Соглашение о поставках военно-морского флота и технической помощи Китаю в строительстве военных кораблей». В трех приложениях к соглашению конкретизировались номенклатура, количество и условия поставок.

В приложении № 1 говорилось, что советское правительство передает КНР из состава ВМФ СССР 32 боевых корабля общим водоизмещением 14 500 т: четыре эскадренных миноносца пр. 7, две средних и четыре малые подводные лодки и 22 торпедных катера пр.123К. Кроме того, передавались 148 самолетов различных типов и более 60 ед. аэродромной техники, 150 артиллерийских орудий, торпед, мин, глубинных бомб и артиллерийских снарядов и вспомогательного оборудования.

В приложениях № 2 и № 3 говорилось о поставках 49 комплектов полуфабрикатов и материалов для сборки на китайских верфях боевых кораблей и катеров общим водоизмещением 13 500 т и о безвозмездном предоставлении КНР прав

на постройку боевых кораблей и производство мин заграждения, а также о бесплатном предоставлении соответствующей технической документации.

Принципиально важное для китайской стороны решение принималось ранее в Постановлении Совета министров СССР «Об оказании помощи Китаю в строительстве промышленных предприятий, намечаемых пятилетним планом КНР» от 15 мая 1953 г.: «...4. Дать согласие представителям Китайского Правительства: а) на передачу Правительству КНР безвозмездно лицензий на право производства продукции, в том числе предметов вооружения и боевой техники, предусмотренной к серийному изготовлению на предприятиях, перечисленных в Приложениях № 1 и 2, а также на передачу технической документации, (в т.ч. секретной и совершенно секретной), чертежей изделий и специального инструмента, технологических карт, технических условий и спецификаций на применяемые для производства материалы, ОСТов, ГОСТов и ВЕСТов.»¹²

Соглашением предусматривалось, что лишь одна треть стоимости поставок будет оплачена валютой, а две трети погашены за счет предоставленных СССР кредитов (610 млн. руб. при годовой процентной ставке 2%).

Впоследствии Сяо Цзингуан в своих воспоминаниях писал, что общее количество полученных кораблей составляло треть от запросов 1952 г., количество эсминцев было сокращено вдвое, а число переданных самолетов составило всего одну шестую часть.

В начале октября 1954 г. вышло Постановление Совета министров СССР, обязывающее Министерство судостроительной промышленности оказать КНР всестороннюю техническую помощь по судостроению¹³. Во исполнение межправительственного соглашения началась передача Китаю боевых кораблей.

Объем советской технической помощи Китаю по военному кораблестроению по линии Министерства обороны СССР (ВМФ) и судостроительной промышленности в соответствии с соглашением 1954 г. был вполне достаточен для развертывания серийного строительства надводных боевых кораблей вплоть до сторожевого корабля включительно, скоростных боевых катеров, тральщиков и дизель-электрических подводных лодок.

Идя навстречу настойчивым просьбам китайской стороны, по отдельным решениям делились и незавершенными перспективными разработками¹⁴.

В соответствии с принятым Центральным Военным советом КНР в июле 1958 г. «Постановлением о военно-морском строительстве» командованием ВМС НОАК был предложен проект 12-летней кораблестроительной программы, которым предусматривалось в 1962 г. разработать проект эскадренного миноносца водоизмещением 2500 т со скоростью 38–40 уз.

Согласно китайским источникам (российские документы на эту тему до настоящего времени не публиковались), в 1957 г. КНР получила часть документации технического пр. 56 эскадренного миноносца, а также натурные образцы и производственную документацию главного турбозубчатого агрегата (ГТЗА) ТВ-8, главного котла КВ-76. Взаимодействие с небольшим конструкторским подразделением в составе созданного в Пекине в августе 1952 г. 1-го проектно-исследовательского института министерства машиностроения КНР было поручено ЦКБ-53 Министерства судостроительной промышленности СССР (ныне – АО «Северное проектно-конструкторское бюро»).

¹² Китайская Народная Республика в 1950-е годы. Т. 2. С. 216.

¹³ *Зубов Б.Н.* Записки корабельного инженера. Развитие надводного кораблестроения в Советском Союзе. – М., 1998. С. 304.

¹⁴ Подробнее см.: *Третьяков О.В., Литинский Д.Ю.* Становление военного кораблестроения в Китайской Народной Республике // Морской вестник. 2020. № 1. С. 122–124.



Спуск на воду фрегата пр.6601 на судостроительном заводе Hudong, Шанхай, 28 апреля 1956 г. Строительство осуществлялось путем сборки изготовленных в СССР секций корпуса и монтажа поставленных в КНР механизмов и вооружения

В течение 1959 г. ЦКБ-53 командировало в организацию министерства машиностроения КНР своих специалистов. По заявке командования ВМС НОАК проектирование эсминца было включено во второй государственный пятилетний план. При поддержке Госплана КНР по линии министерства машиностроения в качестве прототипов котлотурбинной установки (КТУ) будущего корабля из СССР в Харбин доставили один комплект ГТЗА, главный котел и два образца турбовентилляторов.

Высокооборотный ГТЗА, спроектированный под руководством главного конструктора В. Э. Берга в конструкторском бюро Ленинградского Кировского завода, представлял собой двухкорпусный агрегат, состоявший из двух турбин, конденсатора и редуктора с главным упорным подшипником, валоповоротным и тормозным устройствами. Для повышения экономичности в турбине высокого давления (активного типа) установлены ступени экономического хода. Турбина низкого давления (ТНД) – реактивного типа, двухпроточная. Между протоками переднего хода ТНД располагалась двухпроточная турбина заднего хода. Редуктор – двухступенчатый, с раздвоенной мощностью и торсионными валами. В режимах хода корабля от 14 до 28 уз циркуляционная система главного конденсатора – самопроточная.

На стендовых испытаниях опытный образец ГТЗА ТВ-8, изготовленный на Кировском заводе в 1950 г., подтвердил возможность пуска из холодного состояния и малое время реверса.

Принятая в теплотехнических расчетах турбин температура заборной воды составляла 15°C, что, мягко говоря, не вполне соответствовало условиям гидрологии южных морей. По этой и целому ряду других причин при воспроизведении первого комплекта и последующих испытаниях изготовленных китайскими заводами ГТЗА первых кораблей для достижения спецификационных характеристик главных механизмов пришлось решать достаточно сложные проблемы.

В опубликованных в Китае в последние годы интервью деятелей военного кораблестроения имеются упоминания о том, что впервые предложение спроектировать и строить на отечественных предприятиях боевой корабль подкласса «эскадренный миноносец» прозвучало в 1954 г.

Продолжение следует

Навигация 1942 г. по Ладожскому озеру открылась 28 мая. В этот день из Новой Ладоги в Осиновец вышел первый караван судов, нагруженных еще до открытия навигации. Первый пробный рейс из Осиновца в Кабону парохода «Гидротехник» был совершен 12 мая. Однако он имел больше опытное, чем практическое значение, так как этот рейс проходил в сплошном льду [1].

Успешное проведение работ по спасению флота от ледохода и сравнительно быстрый ввод в эксплуатацию затопленных доков позволили до вскрытия ото льда Ладожского озера погрузить в Гостинополье грузы для Ленинграда в следующем количестве:

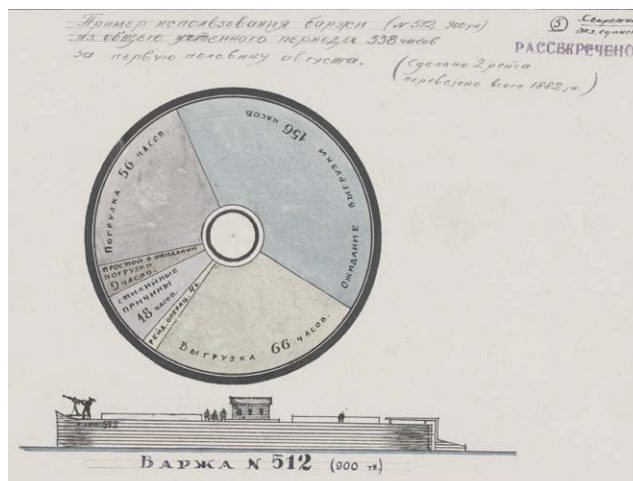
1. Озерных старых..... 4 баржи – 2598 т.
 2. Озерных новых..... 3 баржи – 707 т.
 3. Речных..... 17 барж – 3243 т.
 4. Нефтянок (нефтеналивное судно)
..... 10 барж – 7333 т.
 5. Самоходных..... 4 транспорта – 120 т.
- Всего: 38 единиц – 14 295 т [2].

Все эти суда были доставлены в течение первых пяти дней навигации в Осиновец, так были начаты перевозки в блокадный Ленинград. Вместе с тем опыт эксплуатации первых же барж показал, что каждая из них простаивает под разгрузкой и погрузкой длительное время. Например, баржа №512 грузоподъемностью 900 т из общего учетного периода в 323 часа ходовое время составило 29 часов. Простой в ожидании погрузки составил 9 часов, из-за стихийных причин – 18 часов, погрузка заняла 56 часов, ожидание выгрузки – 139 часов, выгрузка – 68 часов, рейдовые операции – 4 часа. В итоге за две недели баржа сделала всего два рейса и перевезла только 1882 т груза [3].

Для ускорения операции и увеличения оборачиваемости барж было предложено несколько способов механизации перегрузочных работ, однако все они при ближайшей проверке оказались недостаточно эффективными. Способ, ведущий быстрее к цели, заключался в переоборудовании барж в железнодорожные паромы с целью перевозки грузов непосредственно в тех вагонах, в которых они прибывали. Реализация данного способа была возложена на главного конструктора, начальника конструкторского бюро Балтийского завода С.А. Базилевского. Данная задача была успешно выполнена, даже несмотря на то, что, помимо груженых вагонов, Венным Советом Ленинградского фронта и руководством Ленинграда предлагалось обеспе-

ТРАНСПОРТИРОВКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН ПО ЛАДОЖСКОМУ ОЗЕРУ ВО ВРЕМЯ БЛОКАДЫ ЛЕНИНГРАДА

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, контакт. тел. (812) 347 9604



Пример использования 900-тонной баржи (№512) в августе 1942 г.

чить транспортировку через озеро нескольких сот мощных магистральных паровозов, бездействующих в Ленинграде в то время, когда страна в них остро нуждалась [4]. В ходе навигации 1942 г. на железнодорожных баржах-паромах было перевезено значительное количество подвижного железнодорожного транспорта (см. таблицу).

Кроме перевозок железнодорожного подвижного состава через Ладожское озеро на паромах в конце навигации, в сентябре и октябре 1942 г. была применена буксировка железнодорожных цистерн по воде. Сотню пустых железнодорожных цистерн из-под горячего поначалу думали тоже грузить на баржи. Однако в июле 1942 г. на Каспии успешно опробовали перевозку нефтяных цистерн самоплавом, с предварительной фиксацией четырехосных тележек. Воспроизвести опыт каспийцев на Ладоге предложил начальник Осиновецкого порта Северо-Западного речного пароходства А.Я. Макарьев, которого поддержал начальник службы вагонного хозяйства Ладожского железнодорожного узла Н.И. Ганц [6].

Таблица

Объемы перевезенных транспортных средств на железнодорожных баржах-паромах в навигацию 1942 г. [5]

Транспортное средство	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Итого
Из Осиновца на Кабону					
Паровозы	36	32	69	–	137
Тендеры	40	30	64	–	134
Вагоны	219	667	618	123	1627
Из Кабоны на Осиновец					
Вагоны	68	134	448	159	809
Автомшины	–	–	127	1	128
Цистерны	–	–	22	3	25
Повозки	–	–	94	–	94



Спуск железнодорожных цистерн в Ладожское озеро

Для спуска цистерн на воду на западном берегу озера, в районе порта Осиновец, построили специальный слип. На него уложили рельсы и присоединили колею к железнодорожной линии Финляндский вокзал– Ладожское озеро. Для приема цистерн на восточном берегу, в районе Кобоны, построили другой слип, соединенный с железнодорожной линией Коса– Войбокало–Волховстрой. Общая длина рельсовых путей на обоих слипах составила около 600 м.

Верхняя часть слипов постепенно спускалась с берега в воду и заканчивалась на глубине 3 м. Подводная часть слипа укреплялась на каменной подушке. На береговой части слипа рельсовые пути были обычного типа, а от уреза воды до конца слипа рельсы укладывались на бревна диаметром 24 см. Эта часть пути собирались звеньями на берегу, затем звенья спускались под воду и устанавливались на каменной подушке, на которой удерживались балластом из камня и рельсов.

Для перегона через озеро цистерны формировались на берегу в поезда. В него включались цистерны одинакового веса, с одинаковой системой сцепки и одинаковым количеством осей – четырехосные по девяти штук, а двухосные по десять. Сформированные поезда сталкивались паровозом на слип, причем между паровозом и ближайшей к нему цистерной устанавливались две порожние платформы [7].

Перед спуском на воду горловины и спускные клапаны цистерн герметически закрывались с применением дополнительных прокладок. Для усиления крепления цистерн к ходовым частям во избежание потери их при буксировке



Транспортировка железнодорожных цистерн по Ладожскому озеру



Место подъема железнодорожных цистерн из Ладожского озера

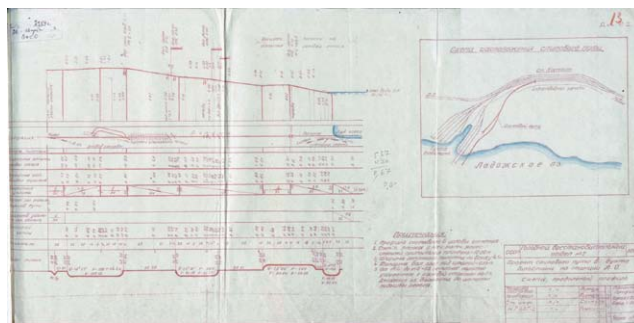


Схема расположения слипового пути

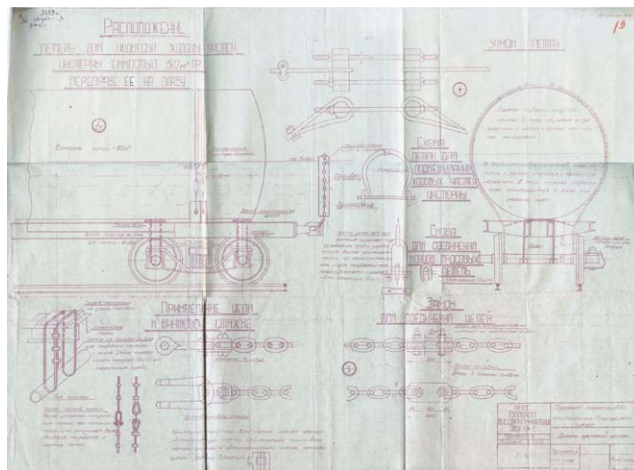


Схема крепления колесных пар железнодорожных цистерн

применялось дополнительное крепление с помощью цинковых тросов. Цистерны для буксировки соединялись между собой имеющимися винтовыми стяжками или автоматической сцепкой, и дополнительно сцепка укреплялась тросом или проволокой [8].

Паровоз медленно толкал поезд, который съезжал в озеро. Цистерны погружались в воду прямо с тележками и сейчас же всплывали. В этот же момент под колеса платформ, находившихся еще на надводной части слипа, подкладывали тормозные башмаки, а к всплывшим цистернам подходил буксир. Сцепка с буксиром проводилась металлическим тросом диаметром 22 мм и длиной до 50 м. Трос поддерживался на воде деревянными поплачками. По сигналу буксира цистерны отцепляли от платформ и отправлялись в плавание [9].

Воз составлялся из четырех четырехосных или семи-девяти двухосных цистерн. Смешанные возы, из двух- и четырехосных цистерн, состояли из пяти-шести единиц. Цистерны буксировали по озеру в погоду при волнении не более 4–5 баллов.

Подъем цистерн с воды на берег в Кабоне выполнялся опять же с помощью слипа. Первоначальное, грубое наведение воза из цистерн на рельсовый путь приемного слипа проводилось постановкой головной цистерны в пространство между качающимися направляющими поплачками [10].

По мере вытаскивания воза цистерн из воды паровозом с платформами, загруженными балластом, головная, а за ней и другие цистерны из расширенной части приемного слипа с прокладкой из котельного железа и бортовыми ограничителями из брусьев выходили на нормальную железнодорожную колею.

Первоначально на вытаскивание цистерн из воды уходило много времени, в дальнейшем эта операция была освоена, и на нее требовалось в среднем 10–12 минут на цистерну. Буксирный пароход, водящий цистерны, имел мощность 240 л.с. Скорость хода воза, состоящего из пяти-

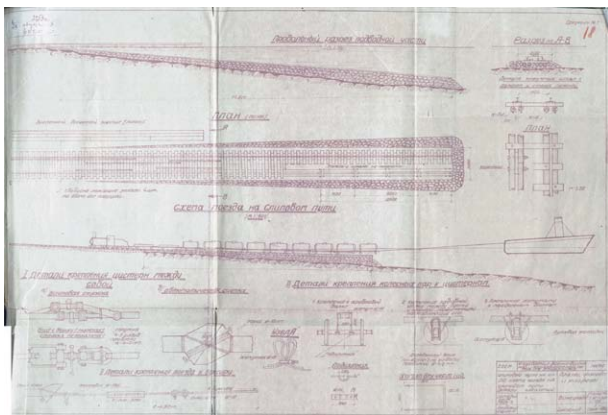


Схема устройства слипового пути для спуска на воду железнодорожных цистерн

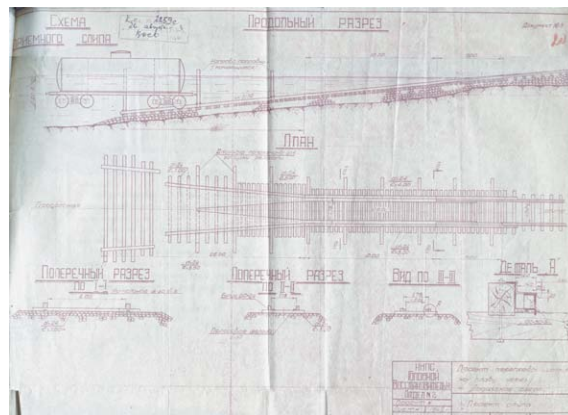


Схема слипового пути для подъема железнодорожных цистерн из воды

железнодорожных цистерн была 5–7 км/ч. Данные перевозки осуществляло Управление военно-восстановительных работ № 2 Народного комиссариата путей сообщений. Опыт оказался удачным, и за последние месяцы навигации из бухты Гольцмана (порт Осиновец на Ладожском озере) в Кабону было отбуксировано 98 порожних цистерн [11].

Таким образом, переоборудование барж в железнодорожные паромы позволили ускорить доставку грузов непосредственно в тех вагонах, в которых они прибывали, в блокадный Ленинград, и пустых железнодорожных цистерн на Большую землю.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Федулов С.В., Половинкин В.Н., Соколов В.В.* Летняя дорога жизни блокадного Ленинграда (1941–1942). – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023, с. 97

2. Там же. С. 98.
3. Там же. С. 99.
4. Базилевский С.А. Из моих воспоминаний: рукопись. – СПб., ФГУП «Крыловский государственный научный центр», с. 63.
5. Филиал ЦАМО РФ (архив ВМФ). Ф. 505. Оп. 28603. Д. 14. Л. 20.
6. *Гуценский Н.* О эвакуации цистерн из блокадного Ленинграда. /Музей «История Правобережья Невского района» – [Электронный ресурс] https://vk.com/wall-191588286_316 (дата обращения 28.03.2023)
7. Там же.
8. Филиал ЦА МО (архив ВМФ). Ф. 161. Оп. 6. Д. 786. Л. 26.
9. *Гуценский Н.* О эвакуации цистерн из блокадного Ленинграда. /Музей «История Правобережья Невского района» – [Электронный ресурс] https://vk.com/wall-191588286_316 (дата обращения 28.03.2023)
10. Филиал ЦА МО (архив ВМФ). Ф. 161. Оп. 6. Д. 786. Л. 28.
11. Там же. Л. 28. ■

20–21 июля 2023 г. в Санкт-Петербурге прошла 54-я (летняя) Ассамблея Санкт-Петербургского Морского Собрания, посвященная Дню Военно-Морского Флота РФ, 320-летию Балтийского флота и Санкт-Петербурга, 290-летию Северного флота и 240-летию Черноморского флота.

20 июля 2023 г. в конференц-зале СПбМС состоялось заседание Совета Межрегиональной ассоциации Морских Собраний в виде очно-заочной видеоконференции, на которой был обсужден ряд важных вопросов, в том числе и порядок взаимодействия членов ассоциации в освещении важных мероприятий на официальном сайте СПбМС.

21 июля в Государственной резиденции К-2 на Каменном острове прошла летняя Ассамблея СПбМС. Традиционно открыли ассамблею солисты Мариинского театра с концертом, посвященным знаменательным датам. В исполнении артистов прозвучали арии из всемирно известных опер «Кармен» Ж. Бизе и «Севильский цирюльник» Д. Россини, а также морские и флотские песни.

Ассамблея началась с торжественного вручения пропуска постоянного гостя дочери первого председателя воссозданного СПбМС Николая Орлова – Наталье Орловой.

54-Я АССАМБЛЕЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО МОРСКОГО СОБРАНИЯ

*И.А. Лещенко, пресс-секретарь Санкт-Петербургского Морского Собрания,
контакт. тел. (812) 312 7092*



Архимандрит Алексей (Ганьжин)

Открыл Ассамблею Почетный член СПбМС настоятель Кронштадтского Морского Никольского ставропигиального собора – главного Морского собора России, заместитель председателя Синодального отдела МП РПЦ архимандрит Алексей (Ганьжин). Он сердечно поздравил председателя и членов СПбМС, старшин Собрания и всех присутствующих гостей с юбилейными датами, особо отметив важность единства и сплоченности для россиян.

С докладом о наиболее знаковых этапах деятельности СПбМС в текущем году выступил его председатель Сергей Николаевич Ирютин. Он отметил, что за последние три года членами Собрания стали около 60 человек. Это – лучшие представители ВМФ, науки, культуры, судостроения, известные и выдающиеся государственные и политические деятели России.

Большое внимание традиционно уделялось работе с молодежью – кадетами, курсантами, учащимися школ.

21 февраля 2023 г. ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова выпустил специалистов радиотехнических специальностей. Решением Совета старшин СПБМС отличники учебы были награждены медалями Собрания. 22 февраля в гимназии № 586 Петербурга под патронажем Собрания прошел конкурс-смотр строя и песни, посвященный Дню защитника Отечества. Члены Собрания – частые гости в Кронштадтском морском кадетском военном корпусе: они провожали кадет для участия в Параде Победы в Москве, принимали участие в церемонии выпуска.

Весной в Астрахани в торжественной обстановке ввели в эксплуатацию теплоход пр. RSD59 «Николай Орлов», названный в честь первого председателя СПБМС, который возглавлял его с 1995 по 2021 г. В церемонии приняли участие представители компаний «МТ-Групп» и ООО «Тристар-Лоджистик», члены Собрания, Наталья Орлова и экипаж судна. Капитан теплохода «Николай Орлов» Николай Тимофеев работает в компании ГК «МТ-Групп» с 2017 г., под его командованием сухогруз выполнил шесть рейсов Россия–Иран и перевез 37 тыс. т грузов.

Издательская деятельность СПБМС получила высокую оценку Министерства обороны. За высокий профессиональный уровень серии книг военно-патриотической тематики «Морская слава России» (детская библиотека Морского Собрания), представленной на соискание премии Министерства обороны Российской Федерации в области культуры и искусства в 2022 г., авторский коллектив награжден благодарностями директора Департамента культуры МО РФ А. Горного.

В апреле СПБМС было принято в Ассоциацию Военно-морских музеев и хранителей морских традиций.

В течение отчетного периода награды и ценные подарки были вручены многим ветеранам ВМФ, представителям предприятий, воинских частей и учреждений ВМФ, ФСБ и иных ведомств, выпускникам морских вузов Петербурга по случаю юбилейных торжеств, выпусков, памятных дней.

8 апреля исполнилось 75 лет со дня образования Ленинградского высшего военно-морского инженерного училища им. В. И. Ленина, который готовит для ВМФ России специалистов электромеханического профиля. Торжественные мероприятия в честь этого события прошли на площадке Военно-морского политехнического института ВУНЦ ВМФ ВМА в г. Пушкин, где многие годы до преобразования размещалось училище.



Вице-адмирал А. О. Воложинский и С. Н. Ирютин



Участники 54-ой Ассамблеи Санкт-Петербургского Морского собрания



Регата, посвященная Дню ВМФ России и 320-летию Балтфлота, Кронштадт, 30 июля 2023 г.

В честь Международного дня музеев 18 мая состоялось награждение лучших музейных работников ГМЗ «Царское Село» медалями и книга-

ми СПБМС в Тронном зале Екатерининского дворца. 31 мая состоялось награждение орденом «За заслуги» директора ООО «Царкосельская ян-



Награждение А. Б. Фомичёва

тарная мастерская» Бориса Игдалова – члена СПбМС в связи с 20-летием открытия воссозданной Янтарной комнаты.

10 июня 2023 г. в городе-колыбели ВМФ России – Переславле-Залесском состоялась акция СПбМС «Маршрутами Петра I», посвященная 30-летию дальнего шлюпочного похода курсантов ВВМИУ им. Ленина по маршруту Санкт-Петербург–Переславль-Залесский–Санкт-Петербург, который проходил в рамках шлюпочной регаты «Паруса Плесеева озера».

Плодотворно работает секция парусного спорта Морского Собрания: в летний период члены секции приняли участие в подготовке и проведении регаты «Гонки парусных яхт, посвященные Дню ВМФ России» на призы Собрания, регаты «Балтийский ветер 2023», «XIX Псковской парусной регаты», посвященной 320-летию Балтийского флота и 100-летию Министерства спорта России, и других.

В завершении С. Н. Ирютин пожелал всем присутствующим крепкого здоровья, счастья, активной пло-

дотворной работы во славу Родины и флота, веры в их достойное будущее. Далее по приказу председателя СПбМС от 21 июля 2023 г. № 7 состоялось награждение орденами, медалями и знаками СПбМС:

- орденом *«За заслуги» 1-й степени*:
- Лукманова Юниса Халитовича – старшины СПбМС;
- орденом *«За заслуги» 2-й степени*:
- Володина Михаила Александровича – члена СПбМС;
- орденом *«За заслуги» 3-й степени*:
- Резюка Анатолия Григорьевича – члена СПбМС;
- орденом *«За трудовую доблесть» 1-й степени*:
- Васюкова Владимира Львовича – старшину СПбМС;
- орденом *«За заслуги» 1-й степени*:
- Суховинского Игоря Семеновича – старшину СПбМС,
- Грызлова Олега Игоревича – старшину СПбМС;
- орденом *«За заслуги в морской деятельности» 3-й степени*:
- Вихрова Николая Михайловича – старшину СПбМС,
- Рыбина Михаила Борисовича – действительного члена СПбМС,
- Шабликова Николая Валерьевича – члена СПбМС;
- орденом *«За трудовую доблесть» 1-й степени*:
- Сильникова Михаила Владимировича – действительного члена СПбМС,
- Кота Виктора Павловича – Почетного председателя Севастопольского МС;
- медалью *Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова*:
- Захарова Евгения Павловича – члена СПбМС,
- Муру Георгия Николаевича – члена СПбМС,
- Ушакова Вячеслава Михайловича – члена СПбМС,



Награждение И. С. Суховинского



Возложение цветов старшинами Морского Собрания, Санкт-Петербурга

- Савкина Евгения Анатольевича – члена СПбМС,
- Крайнова Дмитрия Сергеевича – члена СПбМС;
- ценным подарком (набор жетонов, посвященных 320-летию со дня основания Балтийского флота):
- Чиркова Виктора Викторовича – адмирала, Почетного члена СПбМС,
- Кравченко Виктора Андреевича – адмирала, Почетного члена СПбМС,
- Воложинского Андрея Ольгертовича – вице-адмирала, Почетного члена СПбМС,
- Федотенкова Александра Николаевича – вице-адмирала, Почетного члена СПбМС,
- Фомичёва Андрея Борисовича – действительного члена СПбМС;
- Кравчука Виктора Петровича – вице-адмирала, Почетного члена СПбМС,
- Отца Алексея (Ганьжина Александра Ивановича) – Почетного члена МС,
- Груненьшева Алексея Николаевича – действительного члена СПбМС,
- Пустынникова Сергея Сергеевича – действительного члена СПбМС,
- Екимова Сергея Петровича – члена СПбМС,
- Дорофеева Сергея Григорьевича – начальника ПУФСБ России по СПб и Ленинградской области,
- Вагурина Сергея Александровича – заместителя начальника ПУ ФСБ России по СПб и Ленинградской области,
- Чиликина Александра Леонтьевича – начальника ПУ ФСБ России по Псковской области,
- Кириллова Владимира Владимировича – ген. директора Государственного музея истории Санкт-Петербурга. ■

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 656.611 **Ключевые слова:** морская транспортная система, северный завод, универсальное судно снабжения ледового класса, Севморпуть
- В.П. Кеонджан, В.В. Чугунов, И.В. Щербakov. О необходимости создания судов нового поколения для обеспечения морской транспортной системы северного завода//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 7**
- Рассматривается предложение по повышению эффективности существующей морской транспортной системы (МТС) северного завода. Для этого ООО «Арктические Морские Технологии» и ПКБ «Петробалт» разработали Концепцию проекта нового универсального Судна снабжения. Выполнены расчеты эффективности судов предлагаемой концепции. Создание флота из четырех-пяти таких Судов могут заменить от 10 до 15 судов существующего возрастного флота. Т. 1. Ил. 4.
- УДК 629.5.01 **Ключевые слова:** ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева, высокоскоростные суда с воздушной каверной, экономическая эффективность, перспективные проекты
- С.А. Итальянцев, К.Е. Рыпалов. Высокоскоростные суда с воздушной каверной для решения транспортных задач//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 10**
- Приведено описание принципа создания под днищем судна искусственной воздушной каверны с избыточным давлением с целью снижения сопротивления движению и как следствие, улучшение гидродинамических характеристик скоростных судов. Также дан краткий обзор разработанных в АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева» проектов военных и гражданских судов с воздушной каверной. Ил. 14.
- УДК 629.017 **Ключевые слова:** управляемость подводного технического средства, подводный аппарат, математическая модель, число Фруда, волновой профиль
- А.Н. Пономарев, А.В. Юрканский, Г.П. Аннушко. Учет влияния волнообразования на управляемость подводного технического средства в надводном положении//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 14**
- Рассмотрен учет влияния числа Фруда на параметры управляемости подводных технических средств (подводных аппаратов) в надводном положении. Разработаны и представлены универсальные структурные формулы, позволяющие учесть влияние числа Фруда на управляемость подводного технического средства в надводном положении. Ил. 7. Библиогр. 4 назв.
- УДК 629.122 **Ключевые слова:** пассажирский флот, КБ «Вымпел», обновление флота, разработка проекта, экономическая эффективность, круизное пассажирское судно пр.00840 «Карелия»
- А.Р. Вьюшкин. Обновление пассажирского флота//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 22**
- Показана необходимость формирования программы обновления пассажирского флота. Обращено внимание на комплексный подход к составлению технических заданий на требуемые суда, в том числе на вопросы комфортабельности, с учетом опыта эксплуатации существующих судов. При разработке круизного судна пр. 00848 «Карелия» АО КБ «Вымпел» был выполнен полный комплекс мероприятий по повышению его экономической эффективности. Ил. 2.
- УДК 629.5 **Ключевые слова:** Канонерский судоремонтный завод, Морской канал Санкт-Петербурга, ледокол «Красия», «Морской старт»
- Н.М. Вихров. Канонерскому судоремонтному заводу – 140 лет//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 27**
- Подробно рассказана история возникновения, становления и развития Канонерского судоремонтного завода, от образования и до наших дней. Ил. 9.
- УДК 629.5 **Ключевые слова:** ПАО «Судостроительная фирма «Алмаз», судостроение, новая продукция, обновление корабельного состава
- И.М. Мухутдинов. К 90-летию ПАО «Судостроительная фирма «Алмаз»//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 31**
- Дана ретроспектива создания и производственной деятельности ПАО «СФ «Алмаз». Рассказано о построенных катерах и кораблях для ВМФ и Морпрогнрохраны, об освоении предприятием новой продукции, о перспективах фирмы. Ил. 22. Библиогр. 9 назв.
- УДК 629.128 **Ключевые слова:** цифровизация, технологическая подготовка производства, база данных, трубообрабатывающее производство, система управления
- А.А. Веселов, К.С. Рогозина. Разработка автоматизированной информационной системы подготовки трубообрабатывающего производства на основе функциональных процессов и нормативов трудоемкости//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 41**
- Рассмотрена архитектура системы технологической подготовки производства, влияющая на уровень автоматизации и цифровизации трубообрабатывающего производства и предприятия в целом. Ил. 1. Библиогр. 4 назв.
- УДК 67.05, 004.4'22, 377.169.3 **Ключевые слова:** ЧПУ-станок; компилятор, образовательный процесс, инструментальное программное обеспечение
- А.Е. Васильев, В.Д. Ковалёв, Д.Е. Кунгурцев, С.А. Токаренко, А.В. Шерстнёв. Учебно-тренижерные средства автоматизированной генерации управляющих программ для оборудования с ЧПУ//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 43**
- Рассмотрены принципы построения и применения инструментальных программных средств, предназначенных для подготовки инженеров-технологов и операторов станков с числовым управлением при изучении процесса формирования управляющих программ. Приведен пример практической реализации варианта такого инструментального средства. Ил. 3. Библиогр. 18 назв.
- УДК 629.5.068.4 **Ключевые слова:** инсинератор, судостроение, импортозамещение, судовое комплекующее оборудование
- Л.Г. Кузнецов, А.В. Бураков, Р.И. Демидюк, В.С. Канев, С.Ю. Титова, Д.В. Балакшина. Судовые инсинераторы для корабельного ВМФ и гражданского флота//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 51**
- Изложен опыт АО «Компрессор» в области разработки нестандартного судового комплекующего оборудования, в частности предложен отечественный судовый инсинератор для импортозамещения иностранных аналогов на судах различного назначения. Т. 2. Ил. 6. Библиогр. 11 назв.
- УДК 629.5: 621.039.534 **Ключевые слова:** паротурбинная установка, главный конденсатор, система пассивного принципа действия, атомная подводная лодка, глубоководное техническое средство
- В.Г. Кирикова, А.А. Иванов, И.А. Сорокин. Сравнительный анализ систем охлаждения главного конденсатора на атомных подводных лодках и аппаратах//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 54**
- В АО «СПМБМ «Малахит» накоплен обширный опыт проектирования систем охлаждения главного конденсатора (ГК), применяемых на атомных подводных лодках (АПЛ) различных проектов и аппаратах. На основании опыта проектирования, испытаний и эксплуатации данных систем выполнен сравнительный анализ, позволяющий определить наиболее целесообразные пути их развития с оценкой возможности применения на перспективных проектах. На АПЛ 3-го и 4-го поколений применяются системы охлаждения ГК активного принципа действия. В составе АЭУ глубоководных технических средств входит конденсационная установка пассивного принципа действия с контуром промежуточного теплоносителя. На основании проведенного сравнительного анализа отдельных эксплуатационных свойств и характеристик систем охлаждения
- ГК активного и пассивного принципов действия можно сделать вывод о возможности применения на перспективных проектах АПЛ систем охлаждения ГК пассивного принципа действия. Ил. 3. Библиогр. 1 назв.
- УДК 623.428.81 **Ключевые слова:** пусковая установка (ПУ), система стрельбы, пневмомеханическая ПУ, пневмогидравлическая ПУ, пневмогидрообразователь, беспоршневая ПУ
- А.А. Борискин. Беспоршневая пневмогидравлическая пусковая установка для постановки малогабаритных изделий//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 57**
- Рассмотрены назначение и принципы действия различных ПУ для постановки малогабаритных изделий, а также возможность создания пневмогидравлической ПУ беспоршневого типа. Приведена ее конструктивная схема. Ил. 7. Библиогр. 6 назв.
- УДК 621.225.46 **Ключевые слова:** рулевая машина, роторная машина, гидравлический силовой привод, лопастной привод
- Ю.А. Лебедев. Анализ особенностей приводов рулевых машин роторного типа//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 61**
- Проведен анализ конструкций силового привода роторных рулевых машин. Показаны их основные конструктивные особенности, описаны различные варианты исполнения силовых приводов. Даны обобщенные рекомендации по применению роторных рулевых машин при проектировании судов. Ил. 2. Библиогр. 6 назв.
- УДК 681.518.5, 004.896, 621.824 **Ключевые слова:** диагностическая аппаратура, бортовой микроконтроллер, робототехническое устройство, встраиваемое программное обеспечение
- А.Е. Васильев, А.В. Вегнер, Д.Е. Голубева, В.А. Карпенко, В.Д. Ковалев. Прикладные аспекты разработки средств диагностики внутренней поверхности судовых валопроводов//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 64**
- Рассмотрены принципы построения роботизированных устройств и приборной аппаратуры для осуществления диагностических процедур на внутренних поверхностях судовых валопроводов. Приведен пример структурно-функциональной организации варианта таких диагностических средств. Ил. 2. Библиогр. 11 назв.
- УДК 621.352.6 **Ключевые слова:** топливный элемент, сетка, твердотельная модель, мембранно-электролитный блок, система каналов
- А.М. Белов, В.В. Кожемякин. Создание модели и расчетной сетки для твердотопливного топливного элемента с активной площадью 25 см²//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 66**
- Моделирование сложных электрохимических процессов, протекающих внутри твердотопливного топливного элемента (ТПТЭ), – необходимое условие для его успешного проектирования. В настоящее время в ходе испытаний можно измерить только входные и выходные параметры ТПТЭ и отсутствует возможность рассмотреть поля различных параметров (давления, температуры, массового состава) в полости ТПТЭ. Ил. 7. Библиогр. 5 назв.
- УДК 623.973 **Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, система компенсации, электромагнитная индукция, измеритель индукции магнитного поля, источник низкочастотного электромагнитного поля
- Б.Ю. Семёнов, Д.В. Чуйко. Технологические аспекты проектирования эффективных корабельных систем компенсации низкочастотных электромагнитных полей//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 71**
- Приведены результаты настройки современных корабельных систем автоматической компенсации низкочастотных электромагнитных полей (АК), анализ трудностей, связанных с применением систем АК на объектах. Сформулированы предложения по улучшению

качества проектирования систем АСК, исходя из опыта их настройки и эксплуатации. Ил. 7. Библиогр. 1 назв.

УДК 681.51 **Ключевые слова:** непрерывный коротковолновый канал связи, расширенный фильтр Калмана, псевдоградиентный алгоритм, нечеткий логический вывод, аналого-цифровое преобразование

С.А. Агеев, А.В. Богданов, А.А. Павлов. Метод адаптивной фильтрации сигналов в узкополосных непрерывных каналах связи коротковолнового диапазона//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 75

Предложен метод адаптивной фильтрации сигналов в узкополосных непрерывных каналах связи коротковолнового диапазона, а также приведен анализ результатов численного исследования реализующего его алгоритма. Актуальность исследования обусловлена тем, что обеспечение достоверности связи в коротковолновом диапазоне на фоне интенсивных помех с удаленными объектами являются важными научной и технической задачами.

В предложенном методе прогноз значений параметров сигнала вычисляется в небольшом по размеру скользящем окне, а корректировка параметров реализующего его алгоритма проводится на основе псевдоградиентных процедур, параметры которых регулируются с помощью метода нечеткого логического вывода Такаги–Сугено. Разработанные метод и алгоритм фильтрации сигналов позволяют учитывать динамику изменения параметров сигнала. Предложенный метод адаптивной фильтрации относится к классу адаптивных методов с предварительным обучением. Максимальная средняя относительная погрешность оценки параметров как стохастических, так и детерминированных сигналов не превышает 3,2%, что является достаточным для обеспечения высокой достоверности при их приеме. Ил. 3. Библиогр. 22 назв.

УДК 621.373 **Ключевые слова:** высокочастотный генератор, модуль, радио-электронная аппаратура, импортозащещение, элементная база

А.А. Камшилин, А.В. Новиков, А.А. Бармин, С.А. Наумов. Импортозащещение в радиоэлектронной промышленности. Практика создания отечественных высокочастотных генераторных модулей//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 79

В сложившейся внешнеполитической ситуации перед радиоэлектронной промышленностью встала проблема отсутствия целого ряда необходимых для выпуска продукции компонентов и материалов. ООО «Мощная радиотехника» совместно с ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» (Фонд содействия инновациям) реализует проект «Создание и коммерциализация изделия «Высокочастотный генераторный модуль». Работы по проекту вышли на финишную прямую, и можно констатировать, что они будут успешно завершены в намеченные сроки. Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

УДК 656.61:377.169.3 **Ключевые слова:** навигационный тренажер, ОКР ВР-НТ, виртуальная реальность, МАНС, автономное судовождение

Д.В. Казунин, В.В. Рыбий. Навигационный тренажер для подготовки специалистов автономного судовождения на основе технологий дополненной и виртуальной реальности//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 83

О создании опытного образца навигационного тренажера для подготовки специалистов автономного судовождения на основе технологий дополненной и виртуальной реальности в рамках ОКР «ВР-НТ». Проект является логическим продолжением дорожной карты Маринет НТИ «Платформа моделирования безэкипажного судовождения» (ПМБС), реализованной с помощью рационального использования бюджетных средств различных госпрограмм поддержки развития экономики страны. Для обеспечения образовательного суверенитета РФ создаются виртуальные средства подготовки специалистов для морского и речного флота, способных эксплуатировать новые типы судов в международных морских водах. Ил. 17. Библиогр. 1 назв.

УДК 621.396.96 **Ключевые слова:** корабельная многопозиционная угломерная система, отождествление пеленгов, байесовский алгоритм распознавания, мера различия случайных векторов, корреляционная сумма

О.Г. Мальцев. Использование результатов распознавания типов морских источников радиоизлучения при отождествлении их пеленгов//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 88

Исследована задача отождествления пеленгов морских источников радиоизлучения (ИР) в корабельной многопозиционной угломерной системе. Предложены решающие правила отождествления пеленгов, осно-

ванные на использовании результатов распознавания типов ИР. Эффективность разработанных решающих правил оценивается по результатам статистического моделирования на ЭВМ задачи определения координат ИР по отождествленным данным. Ил. 2. Библиогр. 8 назв.

УДК 65.519 **Ключевые слова:** манипуляторное устройство, система управления, подводно-технические работы, цифровой двойник, обратная задача кинематики, аддитивные технологии

П.К. Смирнов, Е.А. Черкашин. Точность и совершенство: опыт применения электроприводов, 3D печати и прототипирования сигналов при создании системы управления глубоководным манипуляторным устройством МГМ-7//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 95

Разработана и создана упрощенная полунатурная модель манипуляторного устройства (МУ) МГМ-7 в масштабе 1:3 методами аддитивных технологий 3D печати. Прототипировано решение обратной задачи кинематики (ОЗК) для трехзвенного манипулятора программными методами на Python и с использованием цифрового двойника МУ. На основании полученных выводов принято решение о реализации полномасштабной модели МУ МГМ-7. Ил. 7. Библиогр. 3 назв.

УДК 004.422.8: 004.94: 004.588 **Ключевые слова:** комплекс учебно-тренировочных средств, программный комплекс, модели графических и текстовых документов по связи, радиосети, радиоканалы, радиолинии, расчетные задачи, расчет энергетических характеристик

В.Э. Гель, В.Н. Сучков, Ф.А. Скорик. Применение программного комплекса формирования моделей графических и текстовых документов по связи при подготовке специалистов ВМФ России//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 98

Предложен подход к построению учебно-тренировочного комплекса связи для подготовки командиров, флагманских связистов соединений и личного состава боевых частей связи надводных кораблей к эксплуатации современных комплексов и средств связи. Особое внимание уделено организации и боевому использованию связи со стройной, многоуровневой системой управления боевой подготовкой за счет внедрения в ее состав программного комплекса формирования моделей графических и текстовых документов. Этот комплекс позволяет полностью имитировать реальный комплекс планирования связи на надводном корабле в соответствии с действующими регламентирующими документами. Он предназначен для проведения комплексных тренировок с применением реальных данных и управления, их передачи и централизованной обработки, в том числе комплексных тренировок по обеспечению связи на программных и программно-аппаратных тренажерах, размещенных в учебных классах (учебных боевых постах). Ил. 19. Библиогр. 6 назв.

УДК 621.396.2 **Ключевые слова:** оптическая связь, подводные лодки, каналы связи с подводными лодками, радиосвязь, сейсмическая связь, гидроакустическая связь, сверхдлинноволновый и сверхнизкочастотный диапазоны, перезлучатель оптических сигналов

А.А. Катанович. Повышение эффективности оптического канала связи с подводной лодкой за счет лучшего прохождения его через ослабляющие участки трассы//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 102

Рассмотрены вопросы повышения эффективности связи с подводными лодками. Показано, что наиболее перспективным путем увеличения глубины подводного приема является применение лазерного канала связи. Для увеличения дальности высокоскоростных открытых оптических каналов связи предлагается использовать лазерный луч, состоящий из импульсов длительностью не менее 1 нс, которые формируют из множества волн путем фазовой синхронизации и интерференции. Приведенные расчеты свидетельствуют о существовании принципиальной возможности передачи потока когерентного оптического излучения через ослабляющие участки (дождь, туман, облачность и т.п.) открытых атмосферных трасс с использованием интерференционного потока. При этом становится возможной передача оптического излучения на большие расстояния по открытым атмосферным каналам связи. Ил. 4. Библиогр. 6 назв.

УДК 629.12 **Ключевые слова:** дрон, БПЛА, контроллер, полет, атака, задержка сигнала

А.А. Силкин, Е.Р. Романов, М.В. Чупаков, В.А. Кучеренко. Контроль зависимости БПЛА для автоматической посадки на передвижную платформу корабля//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 105

Исследована проблема управления парением дро-

на над мобильной платформой корабля. Представлена стратегия внутреннего и внешнего контура, основанная на «наблюдателе» с высокой степенью усиления. Во внешнем контуре «наблюдатель» предназначен для оценки состояния дрона. Измерения скорости и ускорения позволяют проектировать вложенный регулятор насыщения. Для регулирования дрона применяется гибридный контроллер, который может быть эффективно использован для исключения явления сбоя в полете. Пример моделирования используется для демонстрации эффективности предлагаемого метода управления на примере БПЛА, разработанных ООО «НПКЦ «НОВИК-91». Ил. 7. Библиогр. 8 назв.

УДК 621.391 **Ключевые слова:** распределение ресурса, буферная память, математическая модель буферной памяти, оптимизация распределения

И.А. Полковников, Л.В. Воробьев. Методика оптимизации распределения буферной памяти при обслуживании разнородных потоков информации//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 109

Качество обслуживания различных источников информации зависит алгоритмов функционирования сетевого оборудования, способов и методов распределения различного сетевого ресурса. Рассматриваются вопросы распределения ресурса памяти. Предлагается вариант решения задачи оптимального распределения емкости буферной памяти. Ил. 7. Библиогр. 9 назв.

УДК 627.77 **Ключевые слова:** ЭПРОН, аварийно-спасательная служба, аварийно-спасательные работы, аварийно-спасательная техника, аварийно-спасательное обеспечение, водолазные работы, подводная лодка, спасательное судно, спасение, судоподъем

Г.А. Гребенщикова, В.С. Никитин, В.Н. Илюхин. Роль и значение экспедиции подводных работ особого назначения в развитии судоподъемного, водолазного и спасательного дела России. К 100-летию ЭПРОН. Часть 2//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 114

Рассмотрены основные условия возникновения и становления развития Экспедиции подводных работ особого назначения (ЭПРОН), а также основные достижения на этапах его развития. Приведены наиболее значимые аварийно-спасательные и судоподъемные работы и научно-технические достижения ЭПРОН. Отмечена ключевая роль ЭПРОН в формировании организационных, научных, и технических основ создания и развития аварийно-спасательных служб в различных ведомствах и организациях. Определены основные факторы, повлиявшие на успехи ЭПРОН в решении оборонных и народнохозяйственных задач на достаточно коротком историческом этапе своей деятельности. Т. 1. Ил. 5. Библиогр. 18.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** надводный корабль, управляемое ракетное оружие, проектирование корабля, Китайская Народная Республика, военно-техническое сотрудничество

О.В. Третьяков, Д.Ю. Литинский. Проектирование, строительство, испытания и эксплуатация надводных кораблей первого поколения ВМС НОАК. Часть 1//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 119

Профессиональное проектирование надводных кораблей в КНР (вторая половина 50-х – начало 60-х гг. XX в.) происходило с широким использованием советской военно-технической помощи в период радикального изменения взглядов на роль надводных кораблей в ВМФ СССР. В статье выполнен ретроспективный анализ развития крупных надводных кораблей ВМС НОАК. Рассмотрены политико-экономические и военно-технические условия формирования кораблестроительного комплекса КНР. Дана оценка степени влияния субъективных и объективных факторов на формирование технического облика надводных кораблей-ракетносцев ВМС НОАК, а также на темпы и эффективность внедрения управляемого ракетного оружия. Ил. 8.

УДК 623.8 **Ключевые слова:** блокадный Ленинград, Ладожское озеро, навигация, баржи, железнодорожные цистерны, слиповый путь, буксирный пароход

В.Н. Половинкин, С.В. Федулов. Транспортировка железнодорожных цистерн по Ладожскому озеру во время блокады Ленинграда//Морской вестник. 2023. № 3 (87). С. 123

Показано, каким образом из блокадного Ленинграда по Ладожскому озеру велась транспортировка пустых железнодорожных цистерн. Данная операция стала осуществима, благодаря созданию слиповых железнодорожных путей, по которым цистерны спускались на воду и поднимались на берег. Ил. 8. Библиогр. 11 назв.

1. Authors shall submit articles of up to 20,000 characters, including figures, in electronic form. The text shall be typed in MS Word under Windows, formulas – in the equation editor «MathType.» Illustrations present in the article shall be submitted additionally, in the following formats: TIFF CMYK (full color), TIFF GRAYSCALE (grayscale), TIFF BITMAP (dashed), EPS, JPEG, with resolution of 300 dpi for grayscale figures and 600 dpi for dashed ones and in sizes desired for placement.

2. Articles shall contain an abstract of up to 300 characters, keywords, and bibliographic library UDC identifier. Authors shall indicate their degree, academic status, place of employment, job position, and telephone number, as well as provide a written permission of the Editor to place articles on the Internet and in the Scientific Electronic Library after publication in the journal. Articles shall be submitted with reviews.

3. The articles of postgraduate and degree-seeking students shall be accepted for publication on a free and royalty-free basis.

4. The control review of these articles shall be performed by the editorial board, with the assistance of dedicated experts, if necessary. Reviews of articles are stored in editorial office of the magazine within 5 years.

5. In case of refusal to publish articles, reviews shall be sent to authors. Copies of reviews go to the Ministry of Education and Science of the Russian Federation at receipt of the corresponding inquiry in editorial office of the magazine.

6. The contents of the journal shall be submitted to the editorial board quarterly. The decision concerning the next issue of the journal shall be formally established with the protocol.

ABSTRACTS

UDC 656.611 **Keywords:** maritime transport system, Northern Delivery, ice-class universal supply vessel, Sevморпут

V.P. Keondzhan, V.V. Chugunov, I.V. Shcherbakov. On the need to create a new generation of ships to ensure the maritime transport system of the Northern Delivery//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 7

The article considers a proposal to improve the efficiency of the existing maritime transport system (MTS) of the «Northern Delivery». To this end, JSC «Arctic Marine Technologies» and Project and Design Bureau «Petrobalt» have developed a Concept for the project of a new universal supply vessel. Calculations of the effectiveness of the vessels of the proposed concept are made. The creation of a fleet of 4–5 such vessels can replace 10 to 15 vessels of the existing age fleet. T. 1. Fig. 4.

UDC 629.5.01 **Keywords:** Alekseev's Design Bureau, high-speed air cavity craft, economic efficiency, promising projects

S.A. Ital'yantsev, K.E. Rypalov. High-speed vessels with an air cavity for solving transport problems//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 10

The article describes the principle of creating an artificial air cavity with excess pressure under the bottom of the vessel in order to reduce the resistance to movement and, as a result, improve the hydrodynamic characteristics of high-speed vessels, as well as a brief overview of those developed by the Alekseev's Design Bureau projects of military and civil ships with an air cavity. Fig. 14.

UDC 629.017 **Keywords:** underwater technical facility controllability, underwater vehicle, mathematical model, Froude number, wave profile

A.N. Ponomarev, A.V. Yurkansky, G.P. Annushko. Accounting for the influence of wave formation on the controllability of an underwater technical facility in a surface position//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 14

Consideration is given to the influence of the Froude number on the controllability parameters of underwater technical means (submersibles) in the surface position. Universal structural formulas have been developed and presented that allow taking into account the effect of the Froude number on the controllability of an underwater technical facility in a surface position. Fig. 7. Bibliography 4 titles.

UDC 629.122 **Keywords:** passenger fleet, Design bureau «Vympel», fleet renewal, project development, economic efficiency, passenger cruise ship project 00840 «Karelia»

A.R. Vyushkin. Renewal of the passenger fleet//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 22

The article shows the need to form a program for the renewal of the passenger fleet. Attention is drawn to an integrated approach to the preparation of technical specifications for the required ships, including issues of comfort, taking into account the experience of operating passenger ships. During the development of the cruise ship pr. 00848 «Karelia» JSC DB «Vympel» carried out a full range of measures to improve the economic efficiency of the vessel. Fig. 2.

UDC 629.5 **Keywords:** Kanonersky Shipyard, St. Petersburg Sea Canal, icebreaker Krasin, Sea Launch

N.M. Vikhrov. Kanonersky ship repair plant is 140 years old//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 27

The story of the emergence, formation and development of the Kanonersky ship repair plant, from its formation to the present day, is told in detail. Fig. 9.

UDC 629.5 **Keywords:** JSC Almaz Shipbuilding company, shipbuilding, new products, renewal of the ship's composition

I.M. Mukhutdinov. To the 90th anniversary of Almaz Shipbuilding Company JSC//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 31

The article gives a detailed retrospective of the creation and production activities of JSC Almaz Shipbuilding Company. It is told about the built boats and ships for the Navy and the Coast Guard, about the development of new products by the enterprise, about the prospects of the company. Fig. 22. Bibliography 9 titles.

UDC 629.128 **Keywords:** digitalization, technological preparation of production, database, pipe-working production, control system

A.A. Veselov, K.S. Rogozina. Development of an automated information system for the preparation of pipe-working production based on functional processes and labor intensity standards//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 41

The architecture of the system of technological preparation of production, which affects the level of automation and digitalization of the pipe-working production and the enterprise as a whole, is considered. Fig. 1. Bibliography 4 titles.

UDC 67.05, 004.4'22, 377.169.3 **Keywords:** CNC-machine, compiler, educational process, tool software

A.E. Vasil'ev, V.D. Kovalyov, D.E. Kungurtsev, S.A. Tokarenko, A.V. Sherstnyov. Training tools the CNC-programs auto generation//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 43

The article discusses the principles of software tools building and applying to training technology engineers and CNC-operators in terms of generating control programs for CNC-machines. An example of such tool is given. Fig. 3. Bibliography 18 titles.

UDC 629.5.068.4 **Keywords:** incinerator, shipbuilding, import substitution, ship accessories

L.G. Kuznetsov, A.V. Burakov, R.I. Demidyuk, V.S. Kanev, S.Yu. Titova, D.V. Balakshina. Ship incinerators for ships of the Navy and civil fleet//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 51

The experience of Compressor JSC in the field of development of non-standard ship components is described, in particular, a domestic ship incinerator is proposed for import substitution of foreign analogues on ships for various purposes. T. 2. Fig. 6. Bibliography 11 titles.

UDC 629.5: 621.039.534 **Keywords:** steam turbine plant, main condenser, passive operating principle system, nuclear submarine, deep-sea technical facility

V.G. Kirikova, A.A. Ivanov, I.A. Sorokin. Comparative analysis of cooling systems of the main condenser on nuclear submarines and vehicles//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 54

SPMDB Malachite JSC has accumulated extensive experience in designing main condenser (MC) cooling systems used on nuclear submarines (SSN) of various projects and vehicles. Based on the experience of designing, testing and operating these systems, a comparative analysis was made to determine the most appropriate ways of developing these systems with an assessment of the possibility of using them in promising projects. On the nuclear submarines of the 3rd and 4th generations, the main cooling systems of the active principle of operation are used. The composition of the nuclear power plant of deep-water technical means includes a condensing unit of a passive principle of operation with an intermediate coolant circuit. On the basis of a comparative analysis of individual operational properties and characteristics of active and passive MC cooling systems, it can be concluded that it is possible to use passive MC cooling systems in promising SSN projects. Fig. 3. Bibliography 1 titles.

UDC 623.428.81 **Keywords:** launcher (PU), firing system, pneumomechanical launcher, pneumohydraulic launcher, pneumohydroconverter, pistonless launcher

A.A. Boriskin. Pistonless pneumohydraulic launcher for placing small items//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 57

The purpose and principles of operation of various launchers for the installation of small-sized products, as well as the possibility of creating a pneumohydraulic launcher of a pistonless type are considered. Its constructive scheme is given. Fig. 7. Bibliography 6 titles.

UDC 621.225.46 **Keywords:** Steering gear, rotary vane gear, hydraulic drive unit

Yu.A. Lebedev. Analysis of the features of drives of steering gear rotary type//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 61

The article provides an analysis of the designs of the power drive of rotary vane steering gear. The main design features of rotary vane steering gear are shown, various versions of power drives are described. Generalized recommendations on the use of rotary vane steering gear in the design of ships are given. Fig. 2. Bibliography 6 titles.

UDC 681.518.5, 004.896, 621.824 **Keywords:** diagnostic equipment; onboard microcontroller; robotic device; embedded software

A.E. Vasil'ev, A.V. Wegner, D.E. Golubeva, V.A. Karpenko, V.D. Kovalev. Applied aspects of the tools development for the ship shaftings internal surface diagnostics//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 64

The article discusses the principles of constructing robotic devices and instrumentation for the implementation of diagnostic procedures on the internal surfaces of ship shafting. An example of the structural and functional organization of such diagnostic tools is given. Fig. 2. Bibliography 11 titles.

UDC 621.352.6 **Keywords:** fuel cell, grid, solid model, membrane-electrode unit, channel system

A.M. Belov, V.V. Kozhemyakin. Creation of a model and computational grid for solid polymer fuel element with an active area of 25 cm²//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 66

Simulation of complex electrochemical processes occurring inside a solid polymer fuel cell (SPFC) is a necessary condition for its successful design. Currently, during tests, only the input and output parameters of the SPFC can be measured, and there is no possibility to consider the fields of various parameters (pressure, temperature, mass composition) in the cavity of the SPFC. Fig. 7. Bibliography 5 titles.

UDC 623.973 **Keywords:** low-frequency electromagnetic field, compensation system, electromagnetic induction, magnetic field induction meter, low-frequency electromagnetic field source

B.Yu. Semenov, D.V. Chuiko. Technological aspects of designing effective ship systems for compensation of low-frequency electromagnetic fields//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 71

The results of adjustment of modern shipboard systems for automatic compensation of low-frequency electromagnetic fields (ACS) are presented, as well as an analysis of the difficulties associated with the use of ACS systems on objects. Proposals are formulated to improve the quality of the design of ACS systems, based on the experience of their configuration and operation. Fig. 7. Bibliography 1 titles.

UDC 681.51 **Keywords:** continuous shortwave communication channel, extended Kalman filter, pseudo-gradient algorithm, fuzzy logic inference, analog-to-digital conversion

S.A. Ageev, A.V. Bogdanov, A.A. Pavlov. The method of adaptive filtering of signals in narrow-band continuous communication channels of the short-wave range//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 75

A method for adaptive filtering of signals in narrow-

band continuous short-wave communication channels is proposed, and an analysis of the results of a numerical study of the algorithm that implements it is presented. The relevance of the study is due to the fact that ensuring the reliability of communication in the shortwave range against the background of intense interference with distant objects is an important scientific and technical task. The proposed method is based on the concept of conditional non-linear Pareto – optimal filtering by V.S. Pugachev, the essence of which is that the evaluation of the signal parameter is carried out in two stages: at the first stage, the forecast of the parameter values is estimated, and at the second, with the following observations of the parameters, – correction of their values.

In the proposed method, the prediction of signal parameter values is calculated in a small sliding window, and the parameters of the algorithm that implements it are corrected based on pseudo-gradient procedures, the parameters of which are controlled using the Takagi–Sugeno fuzzy inference method. The developed method and algorithm for signal filtering make it possible to take into account the dynamics of changes in signal parameters. The proposed adaptive filtering method belongs to the class of adaptive methods with pre-training. The maximum average relative error in estimating the parameters of both stochastic and deterministic signals does not exceed 3.2%, which is sufficient to ensure high reliability when receiving them. Fig. 3. Bibliography 22 titles.

UDC 621.373 **Keywords:** high-frequency generator, module, radio-electronic equipment, import substitution, element base

A.A. Kamshilin, A.V. Novikov, A.A. Barmin, S.A. Naumov. Import substitution in the radio-electronic industry. The practice of creating domestic high-frequency generator modules//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 79

In the current foreign policy situation, the radio-electronic industry faced the problem of the lack of a number of components and materials necessary for the production of products. It is obvious that the range of radio-electronic components and products that require import substitution is simply huge, in connection with which, today, measures are being taken on a national scale. At present, in Russia there are no domestic high-frequency high-power generator and amplifying modules in the form of finished unified products that cover a certain range of frequencies and powers. Powerful Radiotekhnika JSC, together with the Fund for Assistance to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere (Innovation Assistance Fund), is implementing the project «Creation and commercialization of the product «High-frequency generator module». To date, the work on the project has reached the «finish line» and it can be stated that they will be successfully completed on schedule. Fig. 3. Bibliography 5 titles.

UDC 656.61:377.169.3 **Keywords:** navigation simulator, R&D VR-NT, virtual reality, MANS, autonomous navigation

D.V. Kazunin, V.V. Ryb. Navigation simulator for training autonomous navigation specialists based on augmented and virtual reality technologies//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 83

On the creation of a prototype navigation simulator for training autonomous navigation specialists based on augmented and virtual reality technologies within the framework of the VR-NT R&D. The project is a logical continuation of the Marinet NTI roadmap «Unmanned Navigation Simulation Platform» (UNSP), implemented through the rational use of budgetary funds of various state programs to support the development of the country's economy. To ensure the educational sovereignty of the Russian Federation, virtual training facilities are being created for the sea and river fleet, capable of operating new types of ships in international sea waters. Fig. 17. Bibliography 1 titles.

UDC 621.396.96 **Keywords:** shipboard multi-position angles measurement system, bearings association, Bayesian algorithm of recognition, difference measure of random vector, correlation sum

O.G. Mal'tsev. Use of results of recognition of types of sea radio emission sources on a association their bearings//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 88

The problem of association of the bearings of sea radio emission sources (RES) in the shipboard multi-position angles measurement system is studied. The decision rules for association of bearings based on using of the results of recognition of the RES types are proposed. The efficiency of the developed decision rules is estimated by results of statistical modeling on a computer of the problem of de-

termination of the RES coordinates by associated data. Fig. 2. Bibliography 8 titles.

UDC 65.519 **Keywords:** manipulator device, control system, underwater technical works, digital twin, inverse kinematics problem, additive technologies

P.K. Smirnov, E.A. Cherkashin. Accuracy and perfection: experience in the use of electric drives, 3D printing and signal prototyping in the creation of a control system for the MGM-7 deep-sea manipulator//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 93

A simplified half-life model of the manipulator device (MD) MGM-7 on a scale of 1:3 was developed and created using the methods of additive 3D printing technologies. The solution of the inverse kinematics problem (IKP) for a three-link manipulator by software methods in Python and using a digital twin of MU is demonstrated. Based on the findings, a decision was made to implement a full-scale model of MU MGM-7. Fig. 7. Bibliography 3 titles.

UDC 004.422.8:004.94:004.588 **Keywords:** complex of educational and training facilities, software package, models of graphic and text documents for communication, radio networks, radio channels, radio links, calculation tasks, calculation of energy characteristics

V.E. Gel', V.N. Suchkov, F.A. Skorik. Application of a software complex for the formation of models of graphic and text documents for communications in the training of specialists of the Russian Navy//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 98

An approach to the construction of a communications training complex for training commanders, flagship signalmen of formations and personnel of combat communications units of surface ships for the operation of modern communications systems and means is proposed. Particular attention is paid to the organization and combat use of communication with a harmonious, multi-level combat training management system through the introduction of a software complex for the formation of models of graphic and text documents into its composition. This complex allows you to fully simulate a real communication planning complex on a surface ship in accordance with the current regulatory documents. It is intended for carrying out complex trainings using real data and control, their transmission and centralized processing, including complex trainings to ensure communication on software and hardware-software simulators located in training rooms (combat training posts). Fig. 19. Bibliography 6 titles.

UDC 621.396.2 **Keywords:** tical communication, submarines, communication channels with submarines, radio communication, seismic communication, sonar communication, ultra-long-wave and ultra-low-frequency ranges, optical signal re-emitter

A.A. Katanovich. Increasing the efficiency of the optical communication channel with the submarine due to its better passage through the wakening sections of the route//Morskoy vestnik. 2023. № 3(87). P. 102

The issues of increasing the efficiency of communication with submarines are considered. It is shown that the most promising way to increase the depth of underwater reception is the use of a laser communication channel. To increase the range of high-speed open optical communication channels, it is proposed to use a laser beam, while the laser beam should consist of pulses with a duration of at least 1 ns, which are formed from a plurality of waves by phase synchronization and interference. The above calculations indicate the existence of a fundamental possibility of transmitting a coherent optical radiation flux through attenuating areas (rain, fog, clouds, etc.) of open atmospheric routes using an interference flux. At the same time, it becomes possible to transmit optical radiation over long distances through open atmospheric communication channels. Fig. 4. Bibliography 6 titles.

UDC 629.12 **Keywords:** drone, UAV, controller, flight, attack, signal delay

A.A. Silkin, E.R. Romanov, M.V. Chupakov, V.A. Kucherenko. Hanging control for automatic UAV landing on ship mobile platform//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 105

The article investigates the problem of controlling the hovering of a drone on a mobile platform of a ship. An inner and outer loop strategy based on a high gain observer is presented. In the outer loop, a high-gain observer is designed to estimate the state of the drone so that its speed and acceleration measurements are not needed, and then a nested saturation controller is designed. A hybrid

controller is adopted to regulate the attitude of the drone, which can be effectively used to eliminate the phenomenon of in-flight failure. An example of simulation is used to demonstrate the effectiveness of the proposed control method on the example of UAVs developed by JSC NPKTs NOVIK-91. Fig. 7. Bibliography 8 titles.

UDC 621.391 **Keywords:** resource allocation, buffer memory, buffer memory mathematical model, optimization of allocation

I.A. Polkovnikov, L.V. Vorobyov. A technique for optimizing the allocation of buffer memory when servicing heterogeneous information flows//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 109

The quality of service of various sources of information depends on the algorithms of the functioning of network equipment, methods and methods of distribution of various network resources. The article deals with the distribution of the memory resource. A variant of solving the problem of optimal allocation of buffer memory capacity is proposed. Fig. 7. Bibliography 9 titles.

UDC 627.77 **Keywords:** EPRON, rescue service, rescue operations, rescue equipment, rescue support, diving, submarine, rescue ship, rescue, ship recovery

G.A. Grebenshchikova, V.S. Nikitin, V.N. Ilyukhin. The role and significance of the expedition of special underwater works in the development of ship-lifting, diving and rescue business in Russia. To the 100th anniversary of EPRON. Part 2//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 114

The article discusses the main conditions for the emergence and development of the Special Purpose Underwater Expedition (EPRON), as well as the main achievements at the stages of its development. The most significant rescue and ship lifting operations and scientific and technical achievements of EPRON are given. The key role of EPRON in the formation of the organizational, scientific, and technical foundations for the creation and development of emergency rescue services in various departments and organizations was noted. The main factors that influenced the success of EPRON in solving defense and national economic problems at a fairly short historical stage of its activity are determined. The role of outstanding figures of science and practice of emergency rescue business in the achievements of EPRON is shown. Proposals have been formulated to take into account the experience of EPRON in the activities of departmental emergency services and formations, as well as to further improve the federal system of search and rescue at sea. T. 1. Fig. 5. Bibliography 18 titles.

UDC 623.8 **Keywords:** surface ship, guided missile weapon, ship design, People's Republic of China, military-technical cooperation

O.V. Tret'yakov, D.Yu. Litinsky. Design, construction, testing and operation of surface ships of the first generation of the PLA Navy. Part 1//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 119

The professional design of surface ships in the PRC (second half of the 50s – early 60s of the XX century) took place with the widespread use of Soviet military-technical assistance during a period of radical change in views on the role of surface ships in the USSR Navy. Having solved the vital task of defending their coast thanks to the supply of weapons and military equipment from the Soviet Union, Chinese shipbuilders had to continue designing and starting construction of a series of seaworthy missile ships in the face of a complete cessation of military-technical cooperation with the USSR, which was unexpected for the Chinese side. The article presents a retrospective analysis of the development of large surface ships of the PLA Navy.

The political-economic and military-technical conditions for the formation of the PRC shipbuilding complex are considered. An assessment is made of the degree of influence of subjective and objective factors on the formation of the technical appearance of surface missile-carrying ships of the PLA Navy, as well as on the pace and efficiency of the introduction of guided missile weapons. Fig. 8.

UDC 623.8 **Keywords:** Besieged Leningrad, Lake Ladoga, navigation, barges, railway tanks, slipway, tugboat

V.N. Polovinkin, S.V. Fedulov. Towing of railway tanks on Lake Ladoga in the conditions of besieged Leningrad//Morskoy vestnik. 2023. No 3 (87). P. 123

The article highlights how empty railway tanks were transported from besieged Leningrad along Lake Ladoga. This operation became feasible thanks to the creation of slipway railways along which the tanks were launched into the water and rose to the shore. Fig. 8. Bibliography 11 titles.